



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV AUTOMOBILNÍHO A DOPRAVNÍHO INŽENÝRSTVÍ

INSTITUTE OF AUTOMOTIVE ENGINEERING

MECHANICKÉ ČISTÍCÍ ČESLE PRO ČISTÍRNU ODPADNÍCH VOD

MECHANICAL SCREENS FOR WASTE WATER TREATMENT PLANT

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Jiří Běluša

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.

BRNO 2019

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav automobilního a dopravního inženýrství
Student:	Jiří Běluša
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Stavba strojů a zařízení
Vedoucí práce:	doc. Ing. Miroslav Škopán, CSc.
Akademický rok:	2018/19

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Mechanické čistící česle pro čistírnu odpadních vod

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Návrh samočisticích česlí jako čistícího zařízení pro ČOV. Základní technické parametry:
šířka kanálu 400 mm
hloubka kanálu 1000 mm

Cíle bakalářské práce:

Kritická rešerše obdobných zařízení.
Zdůvodněná koncepce navrženého řešení.
Funkční výpočet zařízení, návrh jednotlivých komponent.
Pevnostní kontrola a další výpočty hlavních komponent.
Celková sestava zařízení.
Podsestava a výrobní výkresy.

Seznam doporučené literatury:

BIGOŠ, Peter, Jozef KULKA, Melichar KOPAS a Martin MANTIČ. Teória a stavba zdvíhacích a dopravných zariadení. Vyd. 1. Košice: TU v Košiciach, Strojnícka fakulta, 2012. Edícia vedeckej a odbornej literatúry (Technická univerzita v Košiciach). ISBN 9788055311876.

SHIGLEY, Joseph E., Charles R. MISCHKE a Richard G. BUDYNAS. Konstruování strojních součástí. Brno: Vysoké učení technické v Brně, 2010. Překlady vysokoškolských učebnic. ISBN 978-80-2-4-2629-0.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Josef Štětina, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Práce obsahuje konstrukční návrh samočisticích česlí. Její součástí je kritická rešerše, návrh hlavních konstrukčních prvků a výkresová dokumentace v rozsahu dle zadání.

KLÍČOVÁ SLOVA

česle, samočisticí česle, čistírna odpadních vod, předčištění, shrabky

ABSTRACT

This thesis contains design of self-cleaning screens. The thesis consists of critical research, design of main components and technical drawings of selected components.

KEYWORDS

screens, self cleaning screens, wastewater treatment plant, pretreatment, screenings

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BĚLUŠA, Jiří. Mechanické čistící česle pro čistírnu odpadních vod [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/116123>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav automobilního a dopravního inženýrství. Vedoucí práce Miroslav Škopán.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením doc. Ing. Miroslava Škopána, CSc. a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 24. května 2019

.....

Jiří Běluša

PODĚKOVÁNÍ

Rád bych poděkoval vedoucímu bakalářské práce Ing. Miroslavu Škopánovi, CSc. za užitečné připomínky rady během vypracování této práce. Dále bych chtěl poděkovat zaměstnancům firmy Fontana R, s.r.o. a to zejména panu Ing. Antonínu Fialovi a panu Rostislavu Krejčímu za zpřístupnění firemních podkladů a cenné rady při řešení některých konstrukčních uzlů.

OBSAH

Úvod	9
1 Mechanické předčištění ČOV	10
1.1 Základní funkce předčištění	10
2 Funkce, použití a provoz česlí	11
2.1 Rozdělení česlí dle velikosti průlin	11
2.2 Provoz česlí a jeho řízení	11
3 Vybrané typy česlí	12
3.1 Česle ruční	12
3.2 Česle s hydraulicky poháněným čistícím strojem	13
3.3 Česle pákové strojně stírané	13
3.4 Česle šnekové	14
3.5 Česle schodové	15
3.6 Česle strojní spodem stírané	16
3.7 Česle strojní vrchem stírané	16
3.8 Česle samočisticí	17
3.9 Kritéria pro výběr česlí a jejich objasnění	18
4 Volba a konstrukční provedení česlí	19
4.1 Volba a zhodnocení konstrukce česlí	19
4.2 Konstrukční prvky samočisticích česlí	19
5 Výpočtová část	25
5.2 Výpočet síly v řetězu působící na ozubené kolo	25
5.3 Návrh a kontrola hřídele	33
5.4 Volba pohonu	44
5.5 Návrh a kontrola těsného pera	44
5.6 Výpočet šroubového spoje uložení ložisek	47
5.7 Volba ložisek	47
Závěr	48
Seznam použitých zkratk a symbolů	51
Seznam příloh	55

ÚVOD

Voda je jednou ze základních podmínek života, jak ho známe. Množství jejího výskytu ovlivňuje jak flóru tak faunu v dané oblasti. Lidstvo využívá vodu nejen k pití, ale také jako nejdůležitější surovinu pro všechny obory lidské činnosti. Z tohoto důvodu je nutné vodu upravovat. Touto problematikou se zabývá obor vodohospodářství.

Jeden z procesů úpravy vody je její čištění. Tuto roli zastávají čistírny odpadních vod (ČOV). Jejich hlavním úkolem je ze znečištěné vody odstranit nečistoty.

Čistírny odpadních několik na sebe navazujících stupňů:

- Mechanické předčištění
- Biologické čištění
- Sedimentační stupeň
- Kalové hospodářství pro zpracování kalu z procesu biologického čištění

Jednou z částí mechanického předčištění jsou česle, které mají za úkol odstraňovat z vody mechanické nečistoty.

Cílem této práce je kritická rešerše obdobných zařízení, zdůvodněná koncepce navrženého zařízení samočisticích česlí, návrh a početní kontrola jejich hlavních komponent a tvorba výkresové dokumentace vybraných konstrukčních prvků tohoto zařízení.

1 MECHANICKÉ PŘEDČIŠTĚNÍ ČOV

Jedná se o proces odstraňování hrubých plovoucích a nerozpuštěných látek, písku, tuku a oleje z vody přitékající na čistírnu odpadních vod. Tento proces je velmi důležitou součástí čistícího procesu z důvodu návaznosti dalších procesů čištění odpadních vod na něj navazujících. Při jeho špatném navržení může dojít ke kolísání přítoku a tudíž problémy v těchto procesech.

1.1 ZÁKLADNÍ FUNKCE PŘEDČIŠTĚNÍ

- Zachycování shrabků na česlích nebo sítích a jejich další zpracování
- Odstraňování písku a jeho další zpracování, ochrana strojů na následných stupních
- Separování tuků a olejů a jejich další zpracování
- Vyrovnávání a rozdělování průtoků v případě více stokových soustav

U větších čistíren bývá součástí mechanického předčištění také:

- Lapáky šterku, umístěný před česlemi a sloužící k zachycování a vytěžení valených nečistot (cihly, šterk, kamení)
- Lapák písku a tuku sloužící k separaci písku tuků a jejich dalšímu zpracování (propírání, skladování, transport k dalšímu zpracování), je situován za česlemi
- Primární sedimentace tvořena usazovací nádrží sloužící k odstranění kalu těžšího než voda, který nebyl zachycen v předchozím zařízení, tvoří poslední stupeň mechanického předčištění

2 FUNKCE, POUŽITÍ A PROVOZ ČESLÍ

Česle slouží k zachytu plovoucích předmětů (větví, listí, textilu, kuchyňských odpadků, apod.). Česle mohou být využity jako součást břehového jímacího objektu v úpravkách vody nebo jako součást hrubého předčištění vody ve vtokové části čistíren odpadních vod. Jejich konstrukce se zpravidla skládá z rámu, česlic a vyklizovacího mechanismu.

Rám česlí je pevně připevněn (zabetonován, přišroubován) k přívodnímu kanálu. Česlice jsou tyče kruhového, obdélníkového nebo trojúhelníkového průřezu, které jsou zpravidla přišroubovány nebo přivařeny k rámu. Vyklizovací mechanismus může nabývat různých podob dle způsobu konstrukce česlí. Mezi možné provedení patří například hrábě v případě ručních česlí, hrablo poháněné lineárními hydromotory nebo kartáče umístěné na nekonečném řetězu.

2.1 ROZDĚLENÍ ČESLÍ DLE VELIKOSTI PRŮLIN

Dle velikostí průlin dělíme dle [1] do tří skupin:

- Jemné (2 mm až 10 mm) – omezují hromadění suspendovaných látek
- Střední (10 mm až 20 mm) – zabraňují blokování průtoku
- Hrubé (20 mm až 50 mm) – chrání čistírnu a zabraňují blokování průtoku

2.2 PROVOZ ČESLÍ A JEHO ŘÍZENÍ

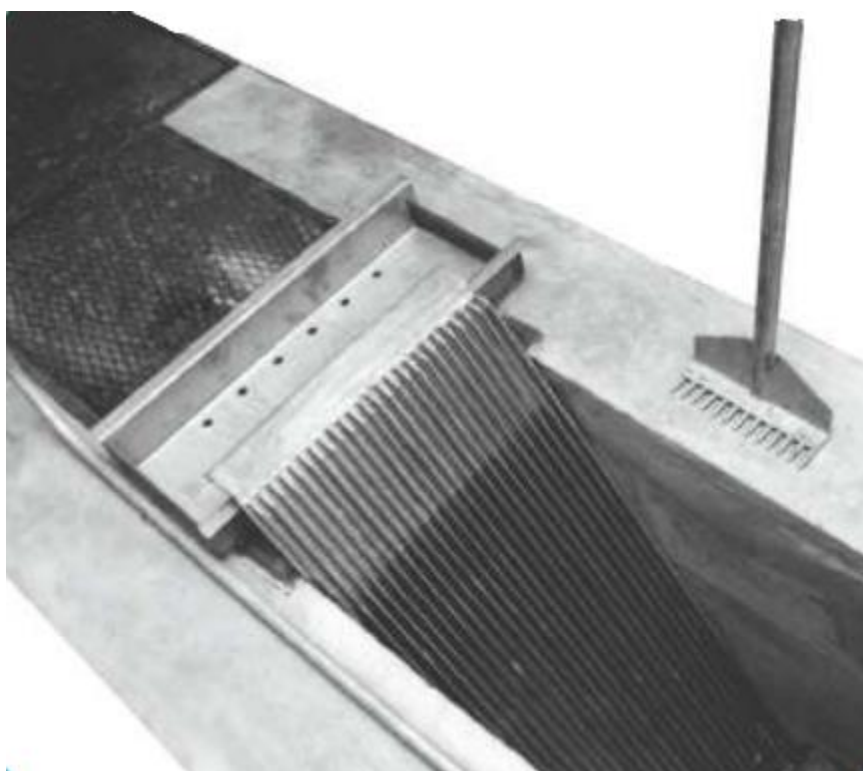
Ručně stírané česle manuálně čistí obsluha na základě vizuální kontroly zanesení česlicové mříže.

U strojních česlí není v praxi nutné, aby byly v provozu neustále. Z tohoto důvodu jsou česle opatřeny časovým spínačem, čidlem pro snímání rozdílů hladin nebo oběma těmito prvky. Časový spínač je dle zkušeností z provozu nastaven na časový interval, po kterém zapne stírací mechanismus. Čidlo snímáče hladiny zapne stírací mechanismus, je-li rozdíl hladin před a za česlemi z důvodu zanesení mříže větší, než je předem nastavená hodnota. Zapnutí stíracího mechanismu bývá zpravidla na předem nastavený čas, počet cyklů, nebo dokud nedojde k poklesu hladiny v případě hladinového čidla.

3 VYBRANÉ TYPY ČESLÍ

3.1 ČESLE RUČNÍ

Dle prospektů výrobců [3][4][5] se jedná se o nejjednodušší a nejlevnější typ česlí. Tento typ česlí využijeme zejména v místech, kde je očekáván nenáročný provoz, např. obtokové kanály jiných typů česlí nebo jako hrubé předčištění před jiným filtračním zařízením. Konstrukce se skládá z rámu, česlicové mříže, odkapávacího žlabu a hrabla uzpůsobeného rozměrům průřezu. Výhodou této konstrukce je jednoduchost výroby, údržby a montáže, která je typicky prováděna pouze pomocí ukotvení odkapávacího žlabu ke stěnám kanálu a v případě větších průtoků také česlicové mříže ke dnu. Nevýhodou je nutnost česle pravidelně kontrolovat, popřípadě vyčistit od shrabků, aby nedošlo k jejich ucpání.



Obr. 1 Ruční česle s hrablem [3]

3.2 ČESLE S HYDRAULICKY POHÁNĚNÝM ČISTÍCÍM STROJEM

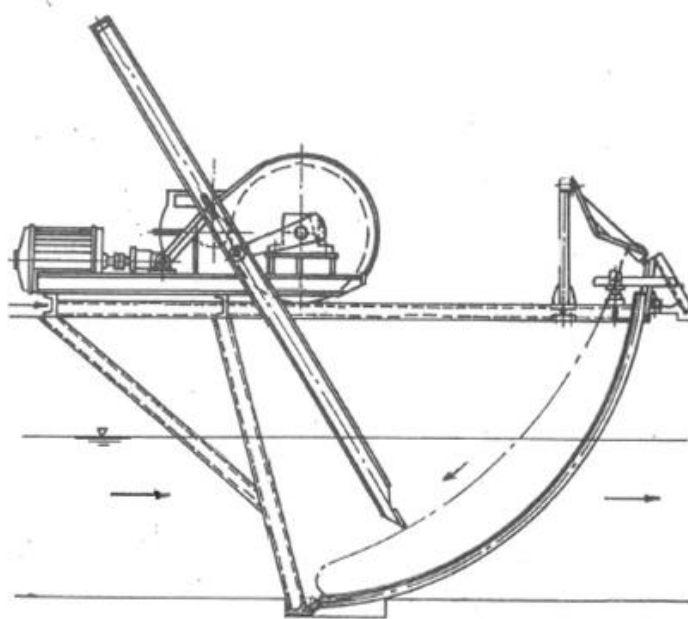
Čerpáno ze [6]. Princip konstrukce česlicové je obdobný česlím ručním. K vyklízení shrabků se ovšem místo ručního hrabla se používá hrablo mechanicky poháněné, které svým pohybem vyhrnuje shrabky z česlí do odkapávacího žlabu, na dopravník nebo do kontejneru. Tímto se proces zautomatizuje. Provedení čistícího stroje může být například teleskopické nebo kloubové. Obě tato provedení jsou poháněna hydraulickými agregáty.



Obr. 2 Teleskopický čistící stroj [6]

3.3 ČESLE PÁKOVÉ STROJNĚ STÍRANÉ

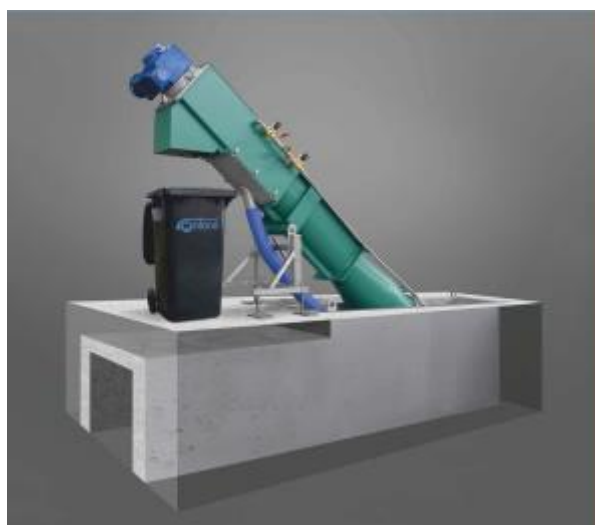
Na základě [2] se jedná o velmi spolehlivé a výkonné česle pro nepřetržitý nebo přerušovaný provoz. Česlicová mříž tvořena zaoblenými pruty. Ta je připevněna k betonovému základu na dně kanálu. Stírání shrabků zajišťuje stírací hřeben tvořený řadou stíracích prvků. Stírací hřeben je naváděn do česlicové mříže pohonným agregátem a vytahuje shrabky směrem nahoru. Tam je materiál stírán stěračem shrabků kloubovitě uloženým na nosné konstrukci česlí. Hřeben se poté vrací na dno kanálu.



Obr. 3 Pákové strojně stírané česle [2]

3.4 ČESLE ŠNEKOVÉ

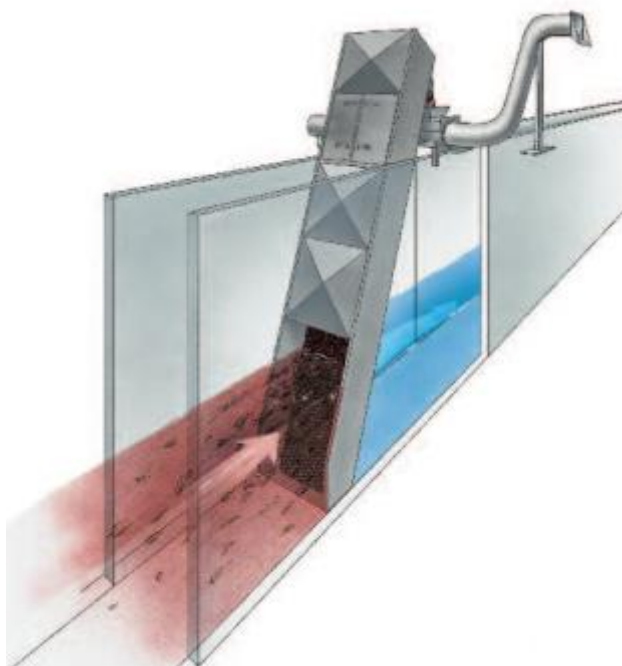
Dle prospektu firmy Fontana R, s.r.o. [7] je tento typ česlí vhodný pro kanály s menším průtokem a menší velikostí shrabků. Dopravu shrabků zajišťuje šnek a konstrukce česlí může umožňovat i propírání a dopravu shrabků do kontejneru bez nutnosti instalace lisu a dalších zařízení. Vnější obvod šneku je opatřen segmenty se stíracími kartáči, které je možno vyměnit bez demontáže česlí, jelikož podléhají opotřebení. Díky změně stoupání a průměru šneku a žlabu směrem k horní části česlí dochází k odvodnění a lisování shrabků. Klasickou česlicovou mříž nahrazuje děrovaný žlab. Otvory ve žlabu jsou čištěny pomocí ostříkovacího zařízení. Česle lze doplnit pytlovacím nástavcem.



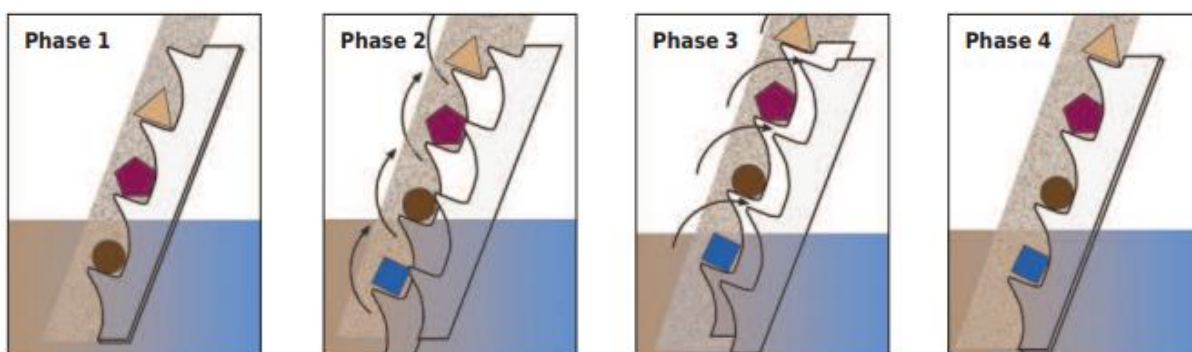
Obr. 4 Šnekové česle [8][7]

3.5 ČESLE SCHODOVÉ

Podle informací uvedených v podkladech [8][9] mluvíme o strojních česlích poháněných elektromotorem s převodovkou vhodných pro použití v ČOV, předčištění vodních elektráren a úpraven vod, pro separaci látek při zemědělské a živočišné výrobě. Provoz česlí je automatický a nenákladný. Vyklízení shrabků zajišťuje česlicová mříž, která se skládá z části pevné a pohyblivé. Pohyblivá část zajišťuje posun shrabků směrem nahoru do výsypky, ze které shrabky padají do popelnice nebo do lisu. Díky vzájemnému pohybu česlic dochází k čištění průlin a tudíž se značně snižuje možnost ucpání česlí a současně se snižují náklady na údržbu.



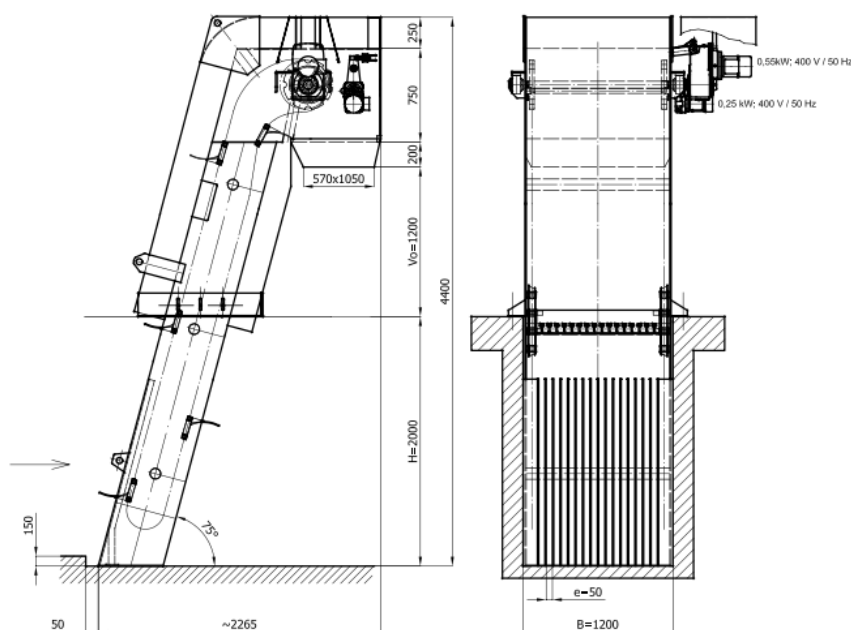
Obr. 5 Schodové česle [8]



Obr. 6 Princip dopravy shrabků [8]

3.6 ČESLE STROJNÍ SPODEM STÍRANÉ

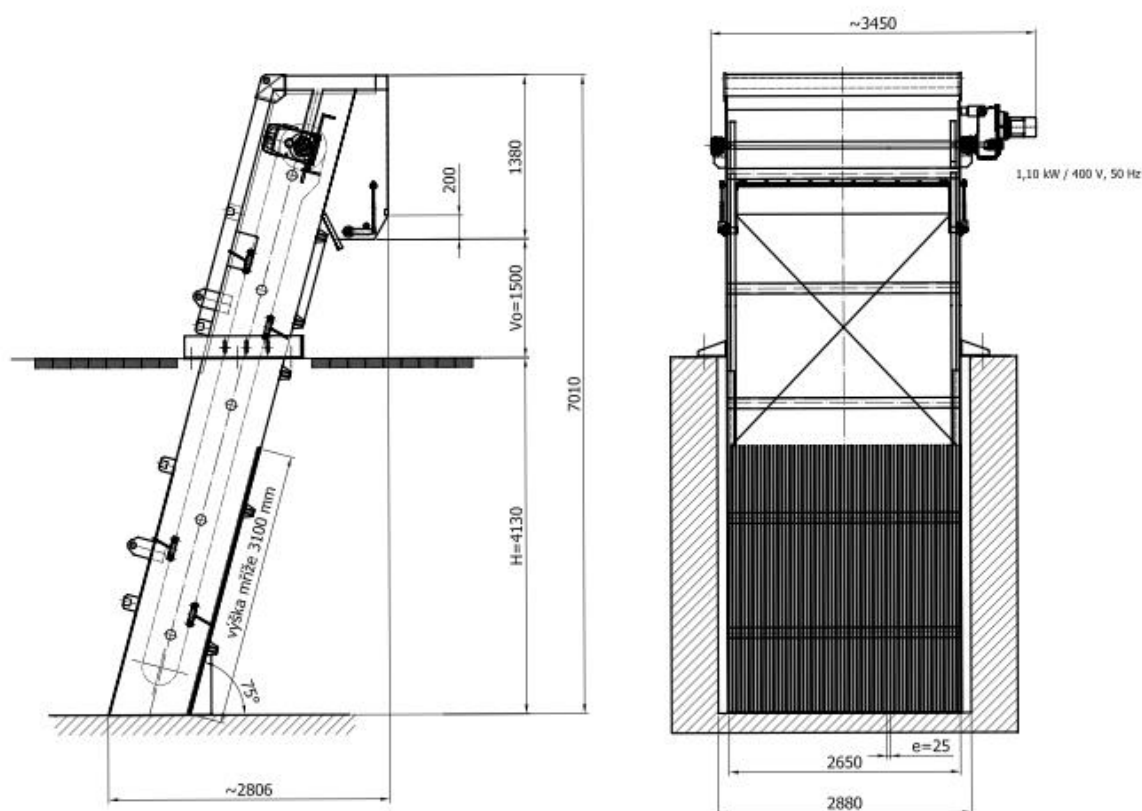
Dle [10] jsou česle určeny pro použití do objektů předčištění ČOV. Zde se zpravidla používají jako česle hrubé a jsou umístěny mezi lapák šterku a písku a česle jemné (schodové, samočisticí, vrchem stírané, apod.) Česlicová mříž je složená z nerezových prutů obdélníkového nebo kruhového průřezu je umístěna na nátoku česlí. Mříž sahá mírně pod hranu kanálu, což způsobuje, že při velkém přívalu vody nebo ucpání česlicové mříže nedojde k ucpání kanálu a vylití vody mimo něj, ale voda pouze přeteče přes mříž. Shrabky jsou vynášeny stíracími lištami s prsty rozmístěnými jeden metr od sebe. Ty jsou umístěny mezi dva nekonečné řetězy pohybující se proti směru proudu vody v kanálu. Jako pohon řetězů slouží elektromotor s převodovkou, ze kterého přenáší kroutící moment hřídel se dvěma řetězovými koly umístěnými v horní části zařízení.



Obr. 7 Spodem stírané strojní česle [10]

3.7 ČESLE STROJNÍ VRCHEM STÍRANÉ

Z informací uvedených v [11][12] mohou být česle na základě požadavků jemné nebo hrubé, jsou určeny v objektu předčištění ČOV. Česlicová mříž. Na rozdíl od česlí spodem stíraných je česlicová mříž umístěna na výtoku česlí. Na česlicovou mříž přímo navazuje plech, po kterém jsou shrabky vynášeny do výsypky umístěné nad podlahou strojovny. Shrabky na česlích jsou stírány z česlí pomocí kartáčů vložených do vozíků. Ty jsou, obdobně jako u česlí spodem stíraných, připevněny k nekonečným řetězům poháněným elektromotorem s převodovkou pomocí řetězových kol. Ovšem v případě vrchem stíraných česlí se řetězy pohybují ve směru vodního proudu. Z výsypky shrabky částečně vypadávají samovolně a z části jsou setřeny stíracím mechanismem. V případě potřeby jsou kartáče očištěny od shrabků vodou pomocí ostřikovacího zařízení. Toto provedení česlí se vyznačuje velkou tuhostí konstrukce, ale dochází k větším ztrátám kvůli tření vznikajícím při dopravě shrabků po plechu.



Obr. 8 Vrchem stírané strojní česle [12]

3.8 ČESLE SAMOČISTÍCÍ

Na základě informací uvedených v [13] česle najdou využití v čistírnách odpadních vod, čerpacích stanicích, úpravnách vod, chemickém průmyslu, pivovarech atd. Jsou vhodné jak pro různé hloubky od 0,4 m až do 8 m, tak pro různé požadované velikosti průlin. Shrabky jsou vynášeny pomocí česlicového pásu, který nahrazuje mříž, do výsypky nad úroveň hrany kanálu do požadované výšky, kde shrabky vypadávají do popelnice, šnekového dopravníku nebo jiného zařízení na zpracování shrabků. Česlicový pás je sestaven ze speciálně tvarovaných česlí, které se vzájemným pohybem z velké části navzájem očišťují. Jeho pohon zajišťuje, obdobně jako u česlí vrchem a spodem stíraných, elektromotor s převodovkou pohánějící hřídel s řetězovými koly, které zabírají do kladek na pásu. Pro důkladnější očištění česlicového pásu od shrabků je v oblasti výsypky instalován rotační kartáč, který vykonává rotační pohyb proti směru pohybu pásu. Výhodou česlí je nízký nárok na údržbu a velká efektivita z důvodu neustálého pohybu česlicového pásu. Nevýhodou může být velké zúžení průtočného profilu kanálu u menších šířek kanálů.



Obr. 9 Samočistící česle

3.9 KRITÉRIA PRO VÝBĚR ČESLÍ A JEJICH OBJASNĚNÍ

Výběr česlí je záležitostí, která vyžaduje znalosti jednotlivých typů česlí, jejich reálné výhody a nevýhody při použití v praxi a také zkušenosti. Při výběru česlí pro ČOV musíme tudíž zvážit jednotlivé faktory ovlivňující výslednou volbu typu a vybavení česlí. Mezi tyto faktory patří zejména návrhové parametry ČOV.

Návrhové parametry ČOV:

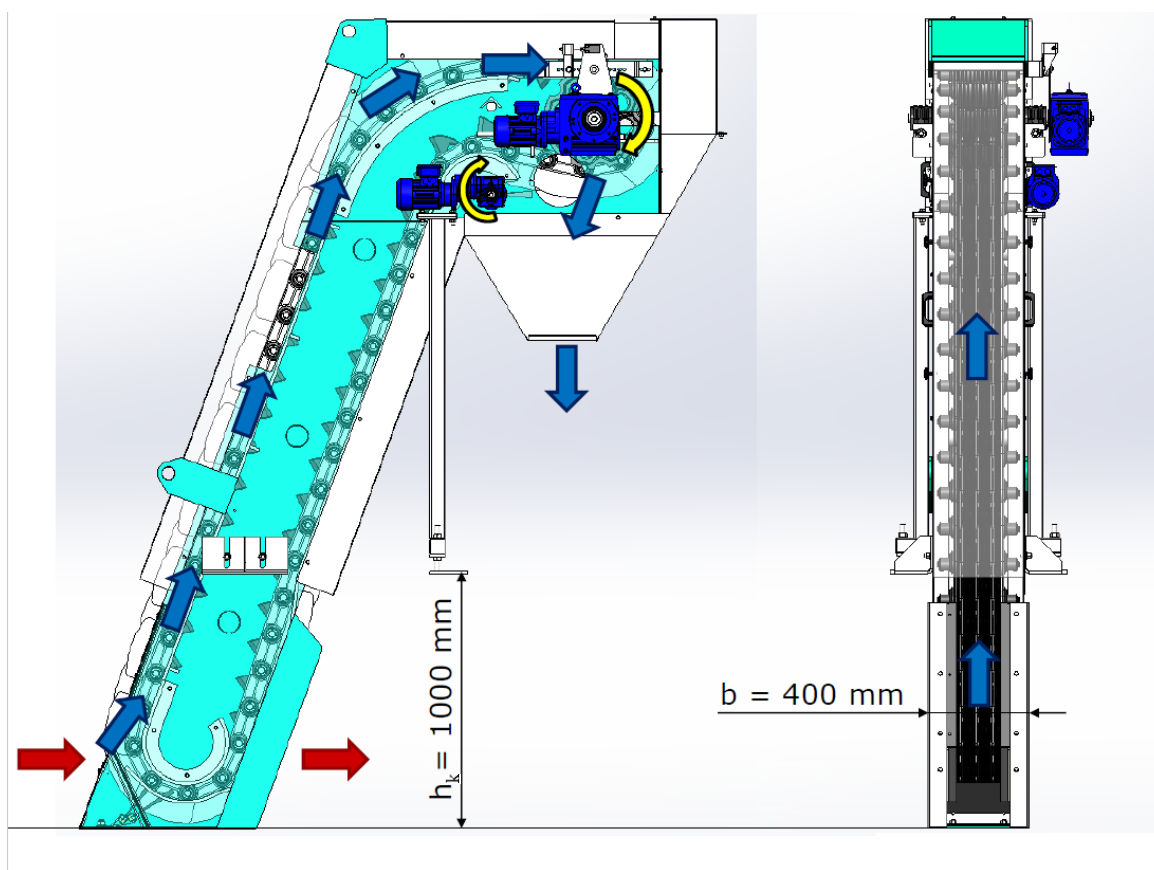
- Velikost ČOV vyjádřena počtem ekvivalentních obyvatel (vypočtená hodnota vytížení ČOV)
- Provedení kanalizační sítě, které může být jednotné nebo oddílné. U jednotného provedení je kanalizace pro splaškovou a dešťovou vodu společná. Při oddílné kanalizaci natéká splašková voda na ČOV a voda dešťová je odváděna do recipientu.
- Charakter znečištění splaškové vody ovlivněný například průmyslovou zónou v dané lokalitě. Splašková voda musí splňovat tzv. kanalizační řád nesmí obsahovat tuky, ropné látky a jiné druhy znečištění. Tyto typy znečištění musí být z vody odstraněny před vypuštěním do veřejné kanalizace.
- Místo instalace česlí ovlivňuje požadavky na vybavení (zateplení, zakrytování).
- Očekávaný podíl nečistot ve vodě ovlivňující frekvenci a délku stíracích cyklů česlí.
- Způsob zpracování shrabků ve formě propírání, odvodňování, dopravy šnekovým nebo pásovým dopravníkem a skladování. Tyto jednotlivé procesy ovlivňují vybavení česlí (lis na shrabky, ostřík) a také jejich samotnou konstrukci (výška výsyvky dle popelnice, dopravníku nebo kontejneru).
- Koncepce mechanického předčištění s ohledem na vlastní funkci česlí dle jak dle hrubosti, tak dle využití. Záleží například na počtu paralelně umístěných česlí, realizací provozu a koncepcí obtoku.
- Cena česlí a jejich vybavení hraje, jako u každého zařízení, svou neoddělitelnou roli. Například použití ručních česlí v obtokových kanálech.

4 VOLBA A KONSTRUKČNÍ PROVEDENÍ ČESLÍ

4.1 VOLBA A ZHODNOCENÍ KONSTRUKCE ČESLÍ

Při vypracování bakalářské práce jsem volil z různých typů česlí. Tento výběr jsem zúžil na tři typy a to česle řetězové, šnekové a samočisticí. Česle šnekové jsem z důvodu seznámení s jejich vlastnostmi při použití v praxi vyloučil a rozhodoval se mezi zbylými dvěma typy. Po zhodnocení zadaných parametrů, konzultací s vedoucím práce, firmou Fontana s.r.o. ochotné poskytnout informace při tvorbě práce a vlastního zaujetí ojedinělou konstrukcí jsem zvolil česle samočisticí v jemném provedení.

Samočisticí česle jsou od „klasických“ česlí odlišné absencí česlicové mříže v podobě prutů, které nahrazuje česlicový pás. Česlicový pás zaručuje, na rozdíl například od vozíků nebo hrabla, že shrabky jsou neustále vynášeny a nezůstávají zachyceny na mříži do doby, než dojde k setření a tudíž se snižuje riziko ucpání česlí. Ovšem při nižších šířkách kanálů dochází k poměrně velkému zúžení průtočné šířky kanálu, což může mít nežádoucí účinky.



Obr. 10 Princip funkce samočisticích česlí

4.2 KONSTRUKČNÍ PRVKY SAMOČISTICÍCH ČESLÍ

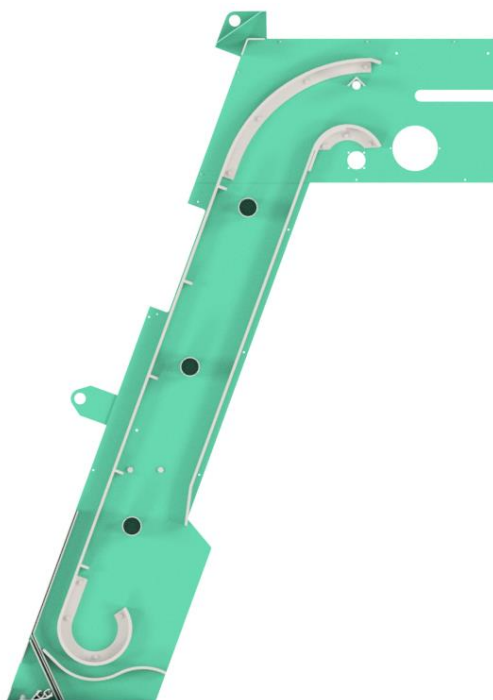
Samočisticí česle se skládají z mnoha konstrukčních prvků. Pro zpracování této práce vybral konstrukční uzly, které považuji za hlavní a nejdůležitější a těmito uzly se zabývám jak konstrukčně tak výpočtově.

Konstrukční prvky:

- Rám a vedení pásu
- Česlicový pás
- Hřídel s řetězovými koly
- Uložení hřídele
- Uložení pohonu a ochrana proti přetížení
- Rotační kartáč
- Výsypka

4.2.1 RÁM A VEDENÍ PÁSU

Rám česlí je základ konstrukce a zajišťuje pevnost a tuhost zařízení při jak při chodu tak při manipulaci. Jedná se o svařenec z plechů o tloušťce 6 mm. Plechy jsou vyřezány pomocí vodního paprsku z nerezové oceli ČSN 17 240 a opatřeny nátěrem (z estetických důvodů). Z vnitřní strany rámu je přišroubováno vedení řetězu česlicového pásu, které nejen zajišťuje vedení řetězu a přenos části zatížení česlicového pásu do rámu, ale také v dolní části česlí nahrazuje řetězové kolo, čímž značně zjednodušuje konstrukci česlí. K dodatečnému vyztužení rámu jsou použity tři rozpěrné trubky rozmístěné mezi bočnicí rámu.



Obr. 11 Řez rámem samočisticích česlí s viditelným vedením pásu

4.2.2 ČESLICOVÝ PÁS

Filtrační česlicový pás nahrazuje klasickou mříž používanou u většiny typů česlí. Skládá se z česlic (výlisků z ABS) nasazených na čepy v roztečích odpovídajících velikosti průliny (tzn. 6 mm). Čepy jsou navzájem spojeny články, díky čemuž vzniká podoba řetězu. Na konce čepů jsou z obou stran s vůlí nasunuty kladky, které se odvalují po vedení řetězu česlicového pásu. Tyto kladky jsou axiálně pojištěny nerezovými pojistnými kroužky ČSN 02 2930. Pro vymezení vůle po stranách česlic jsou mezi česlice a články umístěny bočnice., které se mezi jednotlivými články pásu navzájem překrývají.

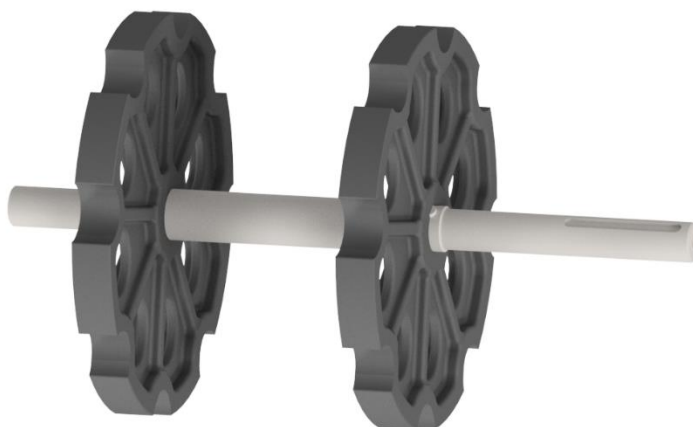


Obr. 12 Článek česlicového pásu

4.2.3 HŘÍDEL S ŘETĚZOVÝMI KOLY

Hřídel se nachází v horní části zařízení. Slouží k přenosu kroutícího momentu z pohonu na řetězová kola pomocí těsných per ČSN 02 2562. Jedná se o obrobek z nerezové oceli ČSN 17 240 s osazeními pro ozubená kola a drážkami pro těsná pera. Na konci hřídele určenému pro montáž pohonu je v ose vnitřní závit sloužící pro axiální zajištění pomocí šroubu ČSN EN ISO 4014 se speciální podložkou.

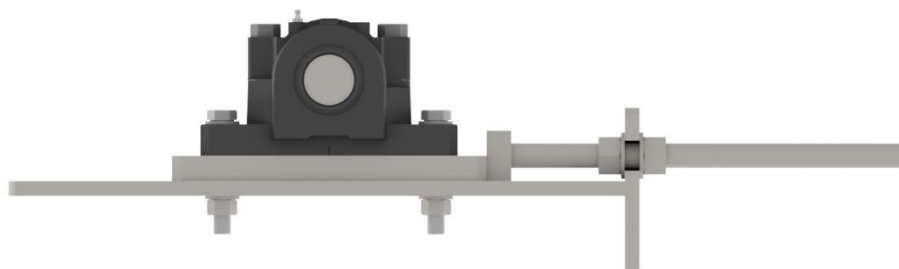
Řetězové kolo je odlitek z korozi-vzdorné ocelolitiny s obrobeným ozubením pro kladky s otvorem pro hřídel a drážkami pro pera.



Obr. 13 Hřídel s řetězovými koly

4.2.4 ULOŽENÍ HŘÍDELE

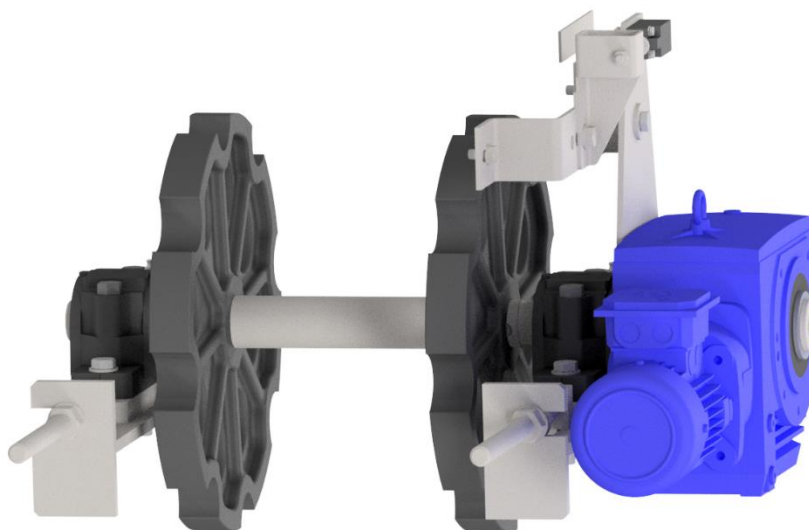
Hřídel je uložena ve dvou ložiskových tělesech s dvouřadými kuličkovými ložisky. K umožnění regulace napnutí filtračního pásu jsou ložisková tělesa přišroubována na podložky, jejichž pozici lze díky drážce v protikusu přivařenému na rám česlí posouvat ve směru jedné osy. Pro přesný posuv využijeme napínacího prvku a to konkrétně závitové tyče se o jejíž konec se opírá podložka ložiskového tělesa. K posunu a zajištění požadované polohy závitové tyče slouží dvě nerezové matice ČSN EN ISO 8673 s podložkami ČSN EN ISO 7089 umístěné na opačných stranách přepážky.



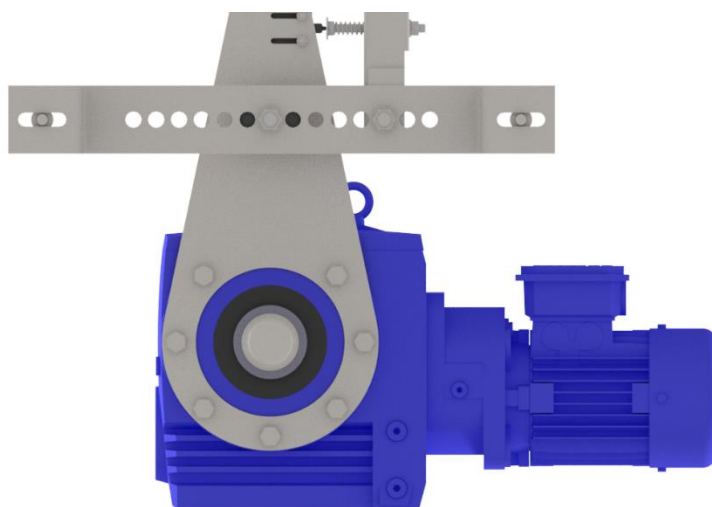
Obr. 14 Uložení hřídele s napínacím mechanismem

4.2.5 ULOŽENÍ POHONU A OCHRANA PROTI PŘETÍŽENÍ

K pohonu česlí slouží elektromotor se šnekovou převodovkou umožňující velký převodový poměr potřebný kvůli provozním otáčkám ve výši 1,6 ot/min. Pohon je pomocí sedmi šroubů ČSN EN ISO 4018 připevněn k tzv. zachycovači momentu s mikrospínačem, který slouží k zamezení jeho rotace kolem vlastní osy. Zachycovač momentu spolu s dalšími prvky také zastává velmi důležitou funkci ochrany proti přetížení zařízení. Této funkce dosáhneme tak, že zachycovač nepřišroubujeme k rámu pevně, ale vytvoříme v rámu díru větší, než je průměr využitého šroubu šroubového spoje. K vymezení této vůle použijeme pryžový silentblok, který se deformuje při zatížení česlí. Dojde-li k zatížení zachycovače momentem blížícím se maximálnímu momentu pohonu dojde k maximální dovolené deformaci silentbloku. V tento moment dojde ke sepnutí mikrospínače z důvodu jeho doteku s nastavitelným dorazem a následně k vypnutí zařízení předtím, než dojde k mechanickému poškození nebo poškození pohonu.



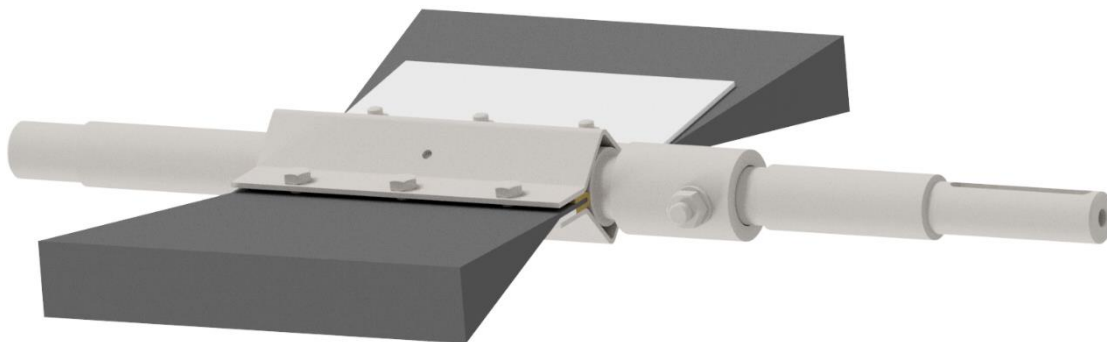
Obr. 16 Uložení pohonu se zachycovačem momentu



Obr. 15 Detail zachycovače momentu a uložení pohonu

4.2.6 ROTAČNÍ KARTÁČ

Nachází se nad výsypkou. Jeho funkce spočívá v očištění česlic od shrabků, které uvízly nebo se přichytily na česlice a to zejména proto, aby se nedostaly do vody vytékající z česlí. Otáčí se rychlostí 3,6 ot/min a to proti směru pohybu česlicového pásu, aby bylo dosaženo co největší efektivity čištění a také aby setřené shrabky padaly přímo do výsypky. K pohonu je opět využit elektromotor se šnekovou převodovkou. Silonové štětiny kartáče jsou zalisované do bronzového pouzdra, které je uchycené na hřídeli pomocí přitlačných plechů.



Obr. 17 Rotační kartáč

4.2.7 VÝSYPKA

Účel výsypky je usměrnění shrabků vypadávajících z česlí pro další zpracování. V tomto případě shrabky padají do popelnice, tudíž je výsypka otevřená bez jakéhokoli příslušenství. Je to svařenec z nerezové oceli ČSN 17 240. Jednotlivé části jsou vyřezány pomocí vodního paprsku z plechu o tloušťce 1,2 mm. Jako celek se potom přišroubuje k rámu česlí.



Obr. 18 Výsypka s dírami pro šrouby

5 VÝPOČTOVÁ ČÁST

V této části práce se zaměřuji na výpočet síly působící na řetězové kolo, kontrolu vybraných konstrukčních prvků, návrh pohonu česlí a volbu ložisek uložení hřídele.

Při výpočtu zatížení česlicového pásu uvažuji pouze váhu shrabků a pasivní odpory při pohybu pásu konstantní rychlostí. Proudění vody a jeho vliv na sílu v pásu zanedbávám z důvodu charakteru proudění vody přes česle a z něho vyplývající nepřesnosti při výpočtu.

5.1.1 ZADANÉ TECHNICKÉ PARAMETRY ČESLÍ

- Šířka kanálu 400 mm
- Hloubka kanálu 1000 mm

5.1.2 VOLENÉ PARAMETRY PRO VÝPOČET

- Úhel sklonu česlí: $\beta = 70^\circ$
- Hmotnost jednoho článku pásu: $m_{\xi} = 2.95 \text{ kg}$
- Uvažovaná hmotnost shrabků na jeden článek horní větve pásu: $m_{sh} = 1 \text{ kg}$
- Výstupní otáčky pohonu: $n = 1,6 \text{ min}^{-1}$

5.2 VÝPOČET SÍLY V ŘETĚZU PŮSOBÍCÍ NA OZUBENÉ KOLO

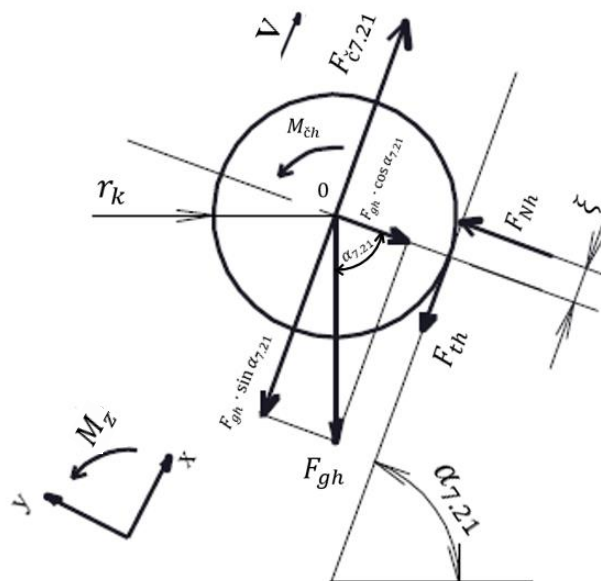
Vzhledem ke konstrukci volím způsob výpočtu síly v pásu působící na řetězové kolo jako součet sil v osách jednotlivých článků česlicového pásu zohledňujících valivý odpor a čepové tření. Pás dělím na horní a spodní větev. Ze sil v jednotlivých větvích poté vypočítám moment působící na kolo. Z důvodu proměnné polohy těžiště v závislosti na tvaru a hmotnosti shrabků uvažuji těžiště článku pásu v místě osy čepu.



5.2.1 VÝPOČET TAŽNÉ SÍLY ČLÁNKU HORNÍ VĚTVY ČESLICOVÉHO PÁSU

Horní část pásu zahrnuje články 1 až 24. Pro výpočet je využito zjednodušené schéma zahrnující pasivní účinky. Schéma lze aplikovat pro celou horní část pásu, pouze se mění hodnota úhlu α s výjimkou článku 23, kde z důvodu absence složky tíhové síly působící do vedení jsou pasivní odpory zanedbány.

VÝPOČET TAŽNÉ SÍLY ČLÁNKŮ 7 AŽ 21



Obr. 19 Uvolnění kladek 7 až 21

Hmotnost článku horní větve pásu

$$m_{\text{ch}} = m_{\text{c}} + m_{\text{sh}} = 2,95 + 1 = 3,95 \text{ kg} \quad (1)$$

kde:

m_{ch} [kg] -hmotnost článku zatíženého shrabky

Tíhová síla vyvolaná hmotností článku horní větve pásu zatíženohé shrabky

$$F_{gh} = m_{\text{ch}} \cdot g = 3,95 \cdot 9,81 = 38,74 \text{ N} \quad (2)$$

kde:

g [m/s²] -tíhové zrychlení

F_{gh} [N] -tíhová síla vyvolaná hmotností článku horní větve pásu

Moment čepového tření mezi čepem a kladkou

$$M_{\text{ch}} = F_{gh} \cdot \cos \alpha_{7,21} \cdot f_{\text{c}} \cdot r_{\text{c}} = 38,74 \cdot \cos 70 \cdot 0,3 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} = 49,68 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} \quad (3)$$

kde:

M_{ch} [Nm] -moment čepového tření mezi čepem a kladkou horní větve pásu

f_{c} [-] -součinitel čepového tření (str. 34) [14]

$r_{\check{c}}$ [m] -poloměr čepu
 $\alpha_{7.21}$ [deg] -úhel sklonu vedení česlicového pásu pro články 7 až 21

Rovnice statické rovnováhy pro kladku článku horní větve pásu

$$x: \sum F_x = 0: F_{\check{c}7.21} - F_{th} - F_{gh} \cdot \sin \alpha_{7.21} = 0 \quad (4)$$

$$y: \sum F_y = 0: F_{Nh} - F_{gh} \cdot \cos \alpha_{7.21} = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_{z0} = 0: F_{Nh} \cdot \xi - F_{th} \cdot r_k + M_{\check{c}h} = 0 \quad (6)$$

Po vyjádření z rovnic (5) a (6) a dosazení do (4) získáme:

$$F_{\check{c}7.21} = \frac{38,74 \cdot \cos 70 \cdot 2 \cdot 10^{-3} + 49,68}{25 \cdot 10^{-3}} + 38,74 \cdot \sin 70 \quad (7)$$

$$F_{\check{c}7.21} = 39,45 \text{ N}$$

kde:

$F_{\check{c}7.21}$ [N] -tažná síla v ose článků 7 až 21
 F_{th} [N] -tečná síla působící na kladku horní větve pásu
 F_{Nh} [N] -normálová síla působící na kladku horní větve pásu
 ξ [m] -rameno valivého odporu [15]
 r_k [m] -poloměr kladky

VÝPOČET TAŽNÉ SÍLY ČLÁNKU 23

$$x: \sum F_x = 0: F_{\check{c}23} - F_{gh} \cdot \sin \alpha_{23} = 0 \quad (8)$$

$$F_{\check{c}23} = F_{gh} \cdot \sin \alpha_{23} = 38,74 \cdot \sin 51 = 30,1 \text{ N}$$

kde:

α_{23} [deg] -úhel sklonu vedení česlicového v místě článku 23
 $F_{\check{c}23}$ [N] -tažná síla v ose článku 23

Tab. 1 Závislost tažné síly v horní větvi pásu na úhlu

Úhel sklonu vedení		Velikost tažné síly	
α [–]	[deg]	$F_{\check{c}i}$ [–]	[N]
α_1	1,5	$F_{\check{c}1}$	9,92
α_2	13,3	$F_{\check{c}2}$	17,58
α_3	24,7	$F_{\check{c}3}$	24,28
α_4	36,5	$F_{\check{c}4}$	30,2
α_5	47,9	$F_{\check{c}5}$	34,71
α_6	59,7	$F_{\check{c}6}$	37,94
$\alpha_{7.21}$	70	$F_{\check{c}7.21}$	39,45
α_{22}	85,9	$F_{\check{c}22}$	39,27
α_{23}	51	$F_{\check{c}23}$	30,1
α_{24}	7,1	$F_{\check{c}24}$	13,82

VÝPOČET CELKOVÉ TAŽNÉ SÍLY V HORNÍ VĚTVI PÁSU

$$F_H = F_{\check{c}1} + F_{\check{c}2} + F_{\check{c}3} + F_{\check{c}4} + F_{\check{c}5} - F_{\check{c}6} - 15 \cdot F_{\check{c}7.21} + F_{\check{c}22} + F_{\check{c}23} + F_{\check{c}24} \quad (9)$$

$$F_H = 9,92 + 17,58 + 24,28 + 30,2 + 34,71 + 37,94 + 15 \cdot 39,45 + 39,27 + 30,1 + 13,82$$

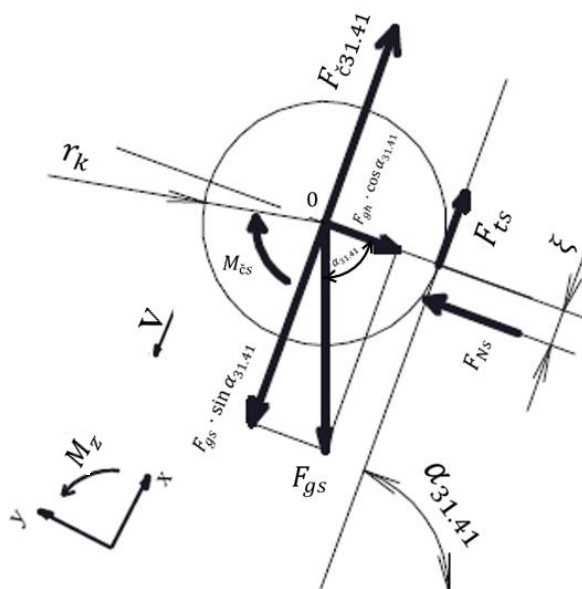
$$F_H = 829,55 \text{ N}$$

kde:

$F_{\check{c}1}$	[N]	-tažná síla v ose článku 1
$F_{\check{c}2}$	[N]	-tažná síla v ose článku 2
$F_{\check{c}3}$	[N]	-tažná síla v ose článku 3
$F_{\check{c}4}$	[N]	-tažná síla v ose článku 4
$F_{\check{c}5}$	[N]	-tažná síla v ose článku 5
$F_{\check{c}6}$	[N]	-tažná síla v ose článku 6
$F_{\check{c}22}$	[N]	-tažná síla v ose článku 22
$F_{\check{c}24}$	[N]	-tažná síla v ose článku 24
F_H	[N]	-tažná síla v horní větvi pásu
α_1	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 1
α_2	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 2
α_3	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 3
α_4	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 4
α_5	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 5
α_6	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 6
α_{22}	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 22
α_{24}	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 24

5.2.2 VÝPOČET TAŽNÉ SÍLY ČLÁNKU SPODNÍ VĚTVY ČESLICOVÉHO PÁSU

Horní část pásu zahrnuje články 25 až 46. Výpočet je obdobný výpočtu tažné síly horní větve pásu. Schéma lze aplikovat pro většinu části pásu kromě kladek 26 až 30, 45 a 46, kde z důvodu absence vedení jsou pasivní odpory zanedbány.



Obr. 20 Uvolnění kladek 31 až 41

Hmotnost článku spodní větve pásu

$$m_{\check{s}} = m_{\check{c}} = 2,95 \text{ kg} \quad (10)$$

kde:

$m_{\check{s}}$ [kg] -hmotnost jednoho článku pásu

Tíhová síla vyvolaná hmotností článku spodní větve pásu nezatíženého shrabky

$$F_{gs} = m_{\check{s}} \cdot g = 2,95 \cdot 9,81 = 28,93 \text{ N} \quad (11)$$

kde:

F_{gs} [N] -tíhová síla vyvolaná hmotností článku spodní větve pásu

Moment čepového tření mezi čepem a kladkou

$$M_{\check{s}} = F_{gh} \cdot \cos \alpha_{31.41} \cdot f_{\check{c}} \cdot r_{\check{c}} = 28,93 \cdot \cos 70 \cdot 0,3 \cdot 12,5 \cdot 10^{-3} = 37,1 \cdot 10^{-3} \text{ Nm} \quad (12)$$

kde:

$M_{\check{s}}$ [Nm] -moment čepového tření mezi čepem a kladkou spodní větve pásu

$\alpha_{31.41}$ [deg] -úhel sklonu vedení česlicového pásu pro články 31 až 41

VÝPOČET TAŽNÉ SÍLY ČLÁNKŮ 26 AŽ 30

$$x: \sum F_x = 0: F_{\check{c}26.30} - F_{gs} \cdot \sin \alpha_{26.30} = 0 \quad (13)$$

$$F_{\check{c}26.30} = F_{gs} \cdot \sin \alpha_{26.30} \quad (14)$$

$$F_{\check{c}26.30} = 28,93 \cdot \sin 70$$

$$F_{\check{c}26.30} = 27,18 \text{ N}$$

kde

$\alpha_{26.30}$ [deg] -úhel sklonu osy článků česlicového pásu pro články 26 až 30

$F_{\check{c}26.30}$ [N] -tažná síla v ose článků 26 až 30

UVOLNĚNÍ A VÝPOČET TAŽNÉ SÍLY ČLÁNKŮ 31 AŽ 41

Rovnice statické rovnováhy pro kladku článku spodní větve pásu

$$x: \sum F_x = 0: F_{\check{c}31.41} + F_{ts} - F_{gs} \cdot \sin \alpha_{31.41} = 0 \quad (15)$$

$$y: \sum F_y = 0: F_{Ns} - F_{gs} \cdot \cos \alpha_{31.41} = 0 \quad (16)$$

$$\sum M_{z0} = 0: -F_{Ns} \cdot \xi + F_{ts} \cdot r_k - M_{\check{c}s} = 0 \quad (17)$$

Po vyjádření z rovnic (15) a (16) a dosazení do (14) získáme:

$$F_{\check{c}31.41} = -\frac{F_{gs} \cdot \cos \alpha_{31.41} \cdot \xi + M_{\check{c}s}}{r_k} + F_{gs} \cdot \sin \alpha_{31.41} \quad (18)$$

$$F_{\check{c}31.41} = -\frac{28,93 \cdot \cos 70 \cdot 2 + 37,1 \cdot 10^{-3}}{25 \cdot 10^{-3}} + 28,93 \cdot \sin 70$$

$$F_{\check{c}31.41} = 24,91 \text{ N}$$

kde:

$F_{\check{c}31.41}$ [N] -tažná síla v ose článků 31 až 41

F_{ts} [N] -tečná síla působící na kladku spodní větve pásu

F_{Ns} [N] -normálová síla působící na kladku spodní větve pásu

Tab. 2 Závislost tažné síly ve spodní větvi pásu na úhlu

Úhel sklonu vedení		Velikost tažné síly	
α_i [–]	[deg]	$F_{\check{c}i}$ [–]	[N]
α_{25}	1,5	$F_{\check{c}25}$	11,72
$\alpha_{26.30}$	24,7	$F_{\check{c}26.30}$	27,18
$\alpha_{31.41}$	36,5	$F_{\check{c}31.41}$	24,91
α_{42}	47,9	$F_{\check{c}42}$	22,25
α_{43}	59,7	$F_{\check{c}43}$	3,69
α_{44}	70	$F_{\check{c}44}$	-0,85
α_{45}	85,9	$F_{\check{c}45}$	-6,31
α_{46}	51	$F_{\check{c}46}$	-5,27

VÝPOČET CELKOVÉ TAŽNÉ SÍLY VE SPODNÍ VĚTVI PÁSU

$$F_S = F_{\check{c}25} + 5 \cdot F_{\check{c}26.30} + 11 \cdot F_{\check{c}31.41} + F_{\check{c}42} + F_{\check{c}43} - F_{\check{c}44} - F_{\check{c}45} - F_{\check{c}46} \quad (19)$$

$$F_S = 11,72 + 5 \cdot 27,18 + 11 \cdot 24,91 + 22,25 + 3,69 - 0,85 - 6,31 - 5,27$$

$$F_S = 435,2 \text{ N}$$

kde:

$F_{\check{c}25}$	[N]	-tažná síla v ose článku 1
$F_{\check{c}42}$	[N]	-tažná síla v ose článku 4
$F_{\check{c}43}$	[N]	-tažná síla v ose článku 5
$F_{\check{c}44}$	[N]	-tažná síla v ose článku 6
$F_{\check{c}45}$	[N]	-tažná síla v ose článku 22
$F_{\check{c}46}$	[N]	-tažná síla v ose článku 24
F_S	[N]	-tažná síla ve spodní větvi pásu
α_{25}	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového v místě článku 25
α_{42}	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového v místě článku 42
α_{43}	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového v místě článku 43
α_{44}	[deg]	-úhel sklonu vedení česlicového v místě článku 44
α_{45}	[deg]	-úhel sklonu osy článku česlicového pásu v místě článku 45
α_{46}	[deg]	-úhel sklonu osy článku česlicového pásu v místě článku 46

VÝPOČET SILOVÝCH ÚČINKŮ PŮSOBÍCÍCH NA ŘETĚZOVÉ KOLO

Pro následující výpočet a výpočty hřídele volím pravoúhlý systém promítání x, y, z, s orientací momentů odpovídajícím pravidlu pravé ruky, jehož orientaci os a kladných momentů ponechávám z důvodu lepší orientace a přehlednosti centrální.

Při výpočtu dělím celkovou sílu v horní a spodní větvi pásu rovnoměrně mezi dvě řetězová kola.

Průměr řetězového kola

$$D = 0,4 \text{ m}$$

Hmotnost řetězového kola

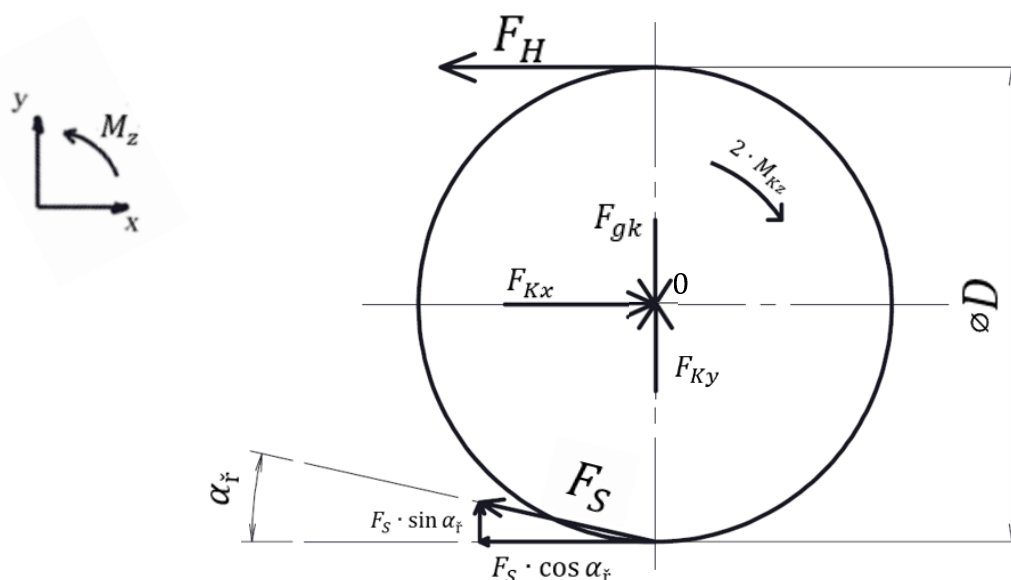
$$m_k = 17,77 \text{ kg}$$

Tíhová síla vyvolaná hmotností řetězového kola

$$F_{gk} = m_k \cdot g = 17,77 \cdot 9,81 = 174,26 \text{ N} \quad (20)$$

kde:

F_{gk} [N] - tíhová síla vyvolaná hmotností řetězového kola



Obr. 21 Uvolnění řetězového kola

Rovnice statické rovnováhy pro řetězové kolo

$$x: \sum F_x = 0: \frac{-F_H}{2} + F_{Kx} - \frac{F_S \cdot \cos \alpha_{\check{r}}}{2} = 0 \quad (21)$$

$$F_{Kx} = \frac{-F_H}{2} + \frac{F_S \cdot \cos \alpha_{\check{r}}}{2} = \frac{829,55}{2} + \frac{435,2 \cdot \cos 12,6}{2} = 627,13 \text{ N}$$

$$y: \sum F_y = 0: F_{Ky} + \frac{F_S \cdot \sin \alpha_{\check{r}}}{2} - F_{gk} = 0 \quad (22)$$

$$F_{Ky} = F_{gk} - \frac{F_S \cdot \sin \alpha_{\check{r}}}{2} = 174,26 - \frac{435,2 \cdot \sin 12,6}{2} = 126,8 \text{ N}$$

$$\sum M_{z0} = 0: \frac{F_H}{2} \cdot \frac{D}{2} - \frac{F_S \cdot \cos \alpha_{\check{r}}}{2} \cdot \frac{D}{2} - M_{Kz} = 0 \quad (23)$$

$$M_{Kz} = \frac{F_H}{2} \cdot \frac{D}{2} - \frac{F_S \cdot \cos \alpha_{\text{ř}}}{2} \cdot \frac{D}{2} \quad (24)$$

$$M_{Kz} = \frac{829,55}{2} \cdot \frac{0,4}{2} - \frac{435,2 \cdot \cos 12,6}{2} \cdot \frac{0,4}{2}$$

$$M_{Kz} = 40,48 \text{ Nm}$$

kde:

- $\alpha_{\text{ř}}$ [deg] -úhel odklonu směru síly F_S od osy x
 F_{Kx} [N] -reakční síla na kolo působící ve směru osy x
 F_{Ky} [N] -reakční síla na kolo působící ve směru osy y
 D [m] průměr řetězového kola
 M_{Kz} [Nm] moment působící na jedno řetězové kolo

5.3 NÁVRH A KONTROLA HŘÍDELE

Při návrhu hřídele vycházím typické konstrukce zařízení (viz. 4.2.5), pohon je tedy uložen na hřídeli. Z toho vyplývá nutnost předběžně odhadnout jeho hmotnost z důvodu výpočtu reakcí v ložiskách. Při tomto kroku vycházím z běžně užívaného pohonu pro tento typ česlí o váze 39 kg s předpokladem, že mnou zvolený pohon bude mít hmotnost obdobnou. Z důvodu neznámosti polohy těžiště motoru uvažuji jeho polohu nad hřídelí.

Délkové rozměry volím dle šířky kanálu (česlí).

$$a = 91 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

$$b = 270 \cdot 10^{-3}$$

$$c = 132 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

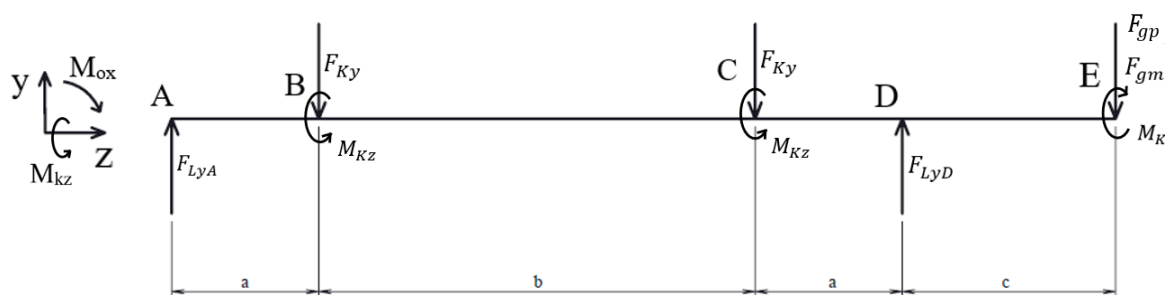
VÝPOČET SIL PŮSOBÍCÍCH V ROVINĚ YZ

Tíhová síla vyvolaná hmotností pohonu

$$F_{gp} = m_p \cdot g = 39 \cdot 9,81 = 382,46 \text{ N}$$

kde:

$$F_{gp} \text{ [N]} \quad \text{-tíhová síla vyvolaná hmotností pohonu}$$



Obr. 22 Schéma hřídele pro rovnice statické rovnováhy a vnitřní výsledné účinky v rovině YZ

Rovnice statické rovnováhy hřídele v rovině YZ

$$z: \sum F_z = 0: 0 = 0 \quad (25)$$

$$y: \sum F_y = 0: F_{LyA} - 2 \cdot F_{Ky} + F_{LyD} - F_{gp} = 0 \quad (26)$$

$$\sum M_{oxA} = 0: F_{Ky} \cdot a + F_{Ky} \cdot (a + b) - F_{LyD} \cdot (2 \cdot a + b) + F_{gp} \cdot (2 \cdot a + b + c) = 0 \quad (27)$$

Po vyjádření z rovnice (27) získáme:

$$F_{LyD} = \frac{F_{Ky} \cdot (2 \cdot a + b) + F_{gp} \cdot (2 \cdot a + b + c)}{(2 \cdot a + b)} \quad (28)$$

$$F_{LyD} = \frac{126,8 \cdot (2 \cdot 91 + 270) \cdot 10^{-3} + 382,46 \cdot (2 \cdot 91 + 270 + 132) \cdot 10^{-3}}{(2 \cdot 91 + 270) \cdot 10^{-3}}$$

$$F_{LyD} = 620,95 \text{ N}$$

Po dosazení rovnice (27) do (26) a vyjádření získáme:

$$F_{LyA} = 2 \cdot F_{Ky} - \frac{F_{Ky} \cdot a + F_{Ky} \cdot (a + b) + F_{gp} \cdot (2 \cdot a + b + c)}{(2 \cdot a + b)} + F_{gp} \quad (29)$$

$$F_{LyA} = 2 \cdot 126,8 - \frac{126,8 \cdot (2 \cdot 91 + 270) \cdot 10^{-3} + 382,46 \cdot (2 \cdot 91 + 270 + 132) \cdot 10^{-3}}{(2 \cdot 91 + 270) \cdot 10^{-3}} + 382,46$$

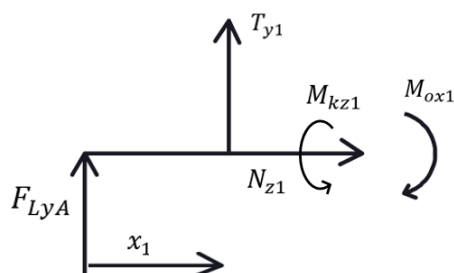
$$F_{LyA} = 15,11 \text{ N}$$

$$\sum M_{kz} = 0: 2 \cdot M_{Kz} - M_K = 0 \quad (30)$$

$$M_K = 2 \cdot M_{Kz} = 2 \cdot 40,48 = 80,96 \text{ Nm}$$

kde:

F_{LyA}	[N]	-reakční síla od ložiska působící na hřídel v bodě A ve směru osy y
F_{LyD}	[N]	-reakční síla od ložiska působící na hřídel v bodě D ve směru osy y
M_K	[Nm]	-minimální výstupní moment pohonu

VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY V ROVINĚ YZInterval I: $x_1 \in <0;a>$ 

Obr. 23 Řez I v rovině YZ

$$N_{z1} = 0 \text{ N} \quad (31)$$

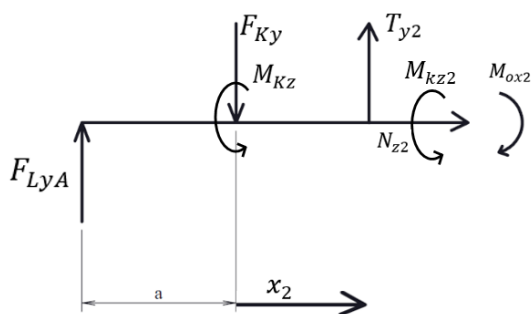
$$T_{y1} = -F_{LyA} = -15,11 = -15,11 \text{ N} \quad (32)$$

$$M_{ox1} = -F_{LyA} \cdot x_1 \quad (33)$$

$$M_{ox1z} = -15,11 \cdot 0 = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{ox1k} = -15,11 \cdot 91 \cdot 10^{-3} = -1,37 \text{ Nm}$$

$$M_{kz1} = 0 \text{ Nm} \quad (34)$$

Interval II: $x_2 \in <0;b>$ 

Obr. 24 Řez II v rovině YZ

$$N_{z2} = 0 \quad (35)$$

$$T_{y2} = -F_{LyA} + F_{Ky} = -15,11 + 126,8 = 111,69 \text{ N} \quad (36)$$

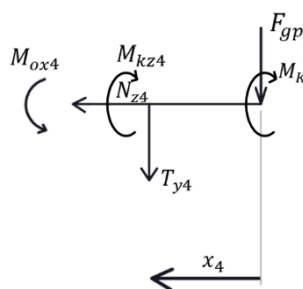
$$M_{ox2} = -F_{LyA} \cdot (a + x_2) + F_{Ky} \cdot x_2 \quad (37)$$

$$M_{ox2z} = -15,11 \cdot (91 \cdot 10^{-3} + 0) + 126,8 \cdot 0 = -1,37 \text{ Nm}$$

$$M_{ox2k} = -15,11 \cdot (91 \cdot 10^{-3} + 270 \cdot 10^{-3}) + 126,8 \cdot 270 \cdot 10^{-3} = 28,78 \text{ Nm}$$

$$M_{kz2} = -M_{Kz} = -40,48 \text{ N} \quad (38)$$

Interval IV: $x_4 \in <0;c>$



Obr. 25 Řez IV v rovině YZ

$$N_{z4} = 0 \quad (39)$$

$$T_{y4} = -F_{gp} = -382,46 \text{ N} \quad (40)$$

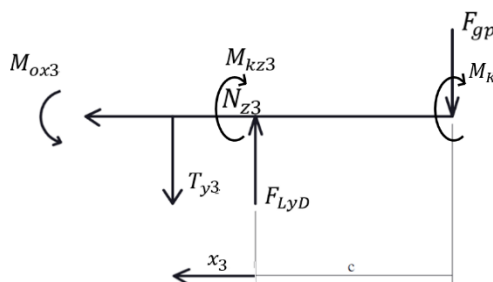
$$M_{ox4} = F_{gp} \cdot x_4 \quad (41)$$

$$M_{ox4z} = 382,46 \cdot 0 = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{ox4k} = 382,46 \cdot 132 \cdot 10^{-3} = 50,48 \text{ Nm}$$

$$M_{kz4} = -M_K = -80,96 \text{ Nm} \quad (42)$$

Interval III: $x_3 \in <0;a>$



Obr. 26 Řez III v rovině YZ

$$N_{z3} = 0 \quad (43)$$

$$T_{y3} = -F_{gp} + F_{LyD} = -382,46 + 620,95 = 238,49 \text{ N} \quad (44)$$

$$M_{ox3} = F_{gp} \cdot (c + x_3) - F_{LyD} \cdot x_3 \quad (45)$$

$$M_{ox3z} = 382,46 \cdot (132 \cdot 10^{-3} + 0) - 620,95 \cdot 0 = 50,48 \text{ Nm}$$

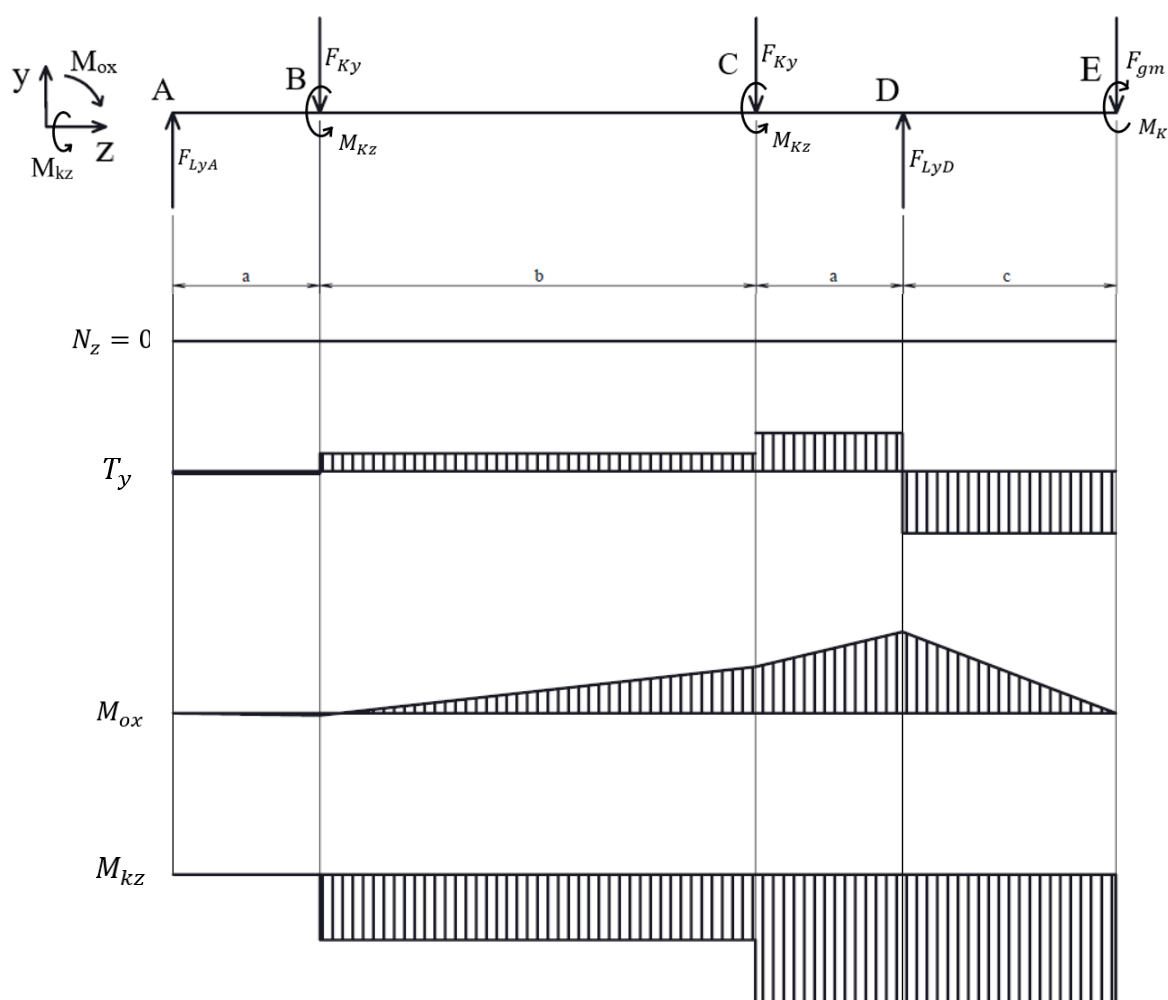
$$M_{ox3k} = 382,46 \cdot (132 \cdot 10^{-3} + 91 \cdot 10^{-3}) - 620,95 \cdot 91 \cdot 10^{-3} = 28,78 \text{ Nm}$$

$$M_{kz3} = -M_K = -80,96 \text{ Nm}$$

Tab. 3 Přehled VVÚ v rovině YZ

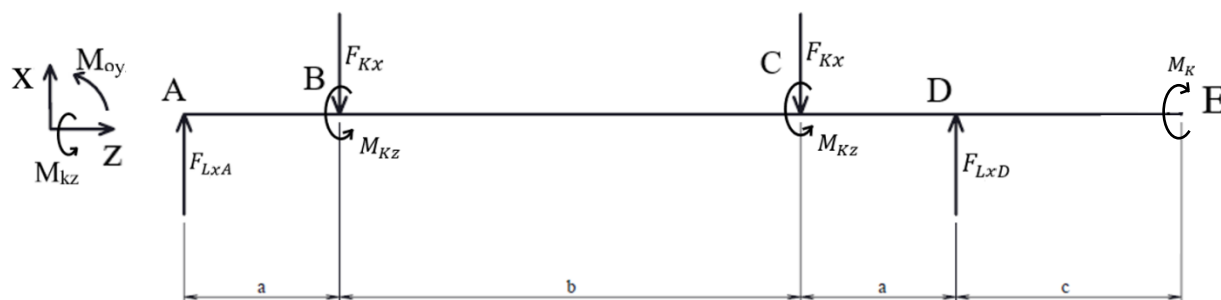
Složka VVÚ	Úsek			
	I	II	III	IV
N_z [N]	0	0	0	0
T_y [N]	-15,11	111,69	238,49	-382,46
M_{oxz} [Nm]	0	-1,37	50,48	0
M_{oxk} [Nm]	-1,37	28,78	28,78	50,48
M_{kz} [Nm]	0	-40,48	-40,48	-80,96

GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VVÚ V ROVINĚ YZ



Obr. 27 Grafické znázornění VVÚ v rovině YZ

VÝPOČET SIL PŮSOBÍCÍCH V ROVINĚ XZ



Obrázek 1 Schéma hřídele pro rovnice statické rovnováhy a vnitřní výsledné účinky v rovině XZ

Rovnice statické rovnováhy hřídele v rovině XZ

$$z: \sum F_z = 0: 0 = 0 \quad (46)$$

$$x: \sum F_{yx} = 0: F_{LxA} - 2 \cdot F_{Kx} + F_{LxD} = 0 \quad (47)$$

$$\sum M_{oyA} = 0: -F_{Kx} \cdot a - F_{Kx} \cdot (a + b) + F_{LxD} \cdot (2 \cdot a + b) = 0 \quad (48)$$

Po vyjádření z rovnice (48) a upravení získáme:

$$F_{LxD} = F_{Kx} = 627,13 \text{ N} \quad (49)$$

Po dosazení rovnice (48) do (47) a vyjádření získáme:

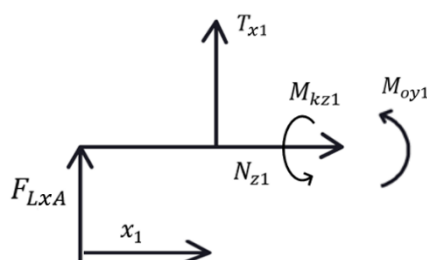
$$F_{LxA} = F_{Kx} = 627,13 \text{ N} \quad (50)$$

$$\sum M_{kz} = 0: 2 \cdot M_{Kz} - M_K = 0 \quad (51)$$

$$M_K = 2 \cdot M_{Kz} = 2 \cdot 40,48 = 80,96 \text{ Nm}$$

kde:

F_{LxA} [N] -reakční síla od ložiska působící na hřídel v bodě A ve směru osy x
 F_{LxD} [N] -reakční síla od ložiska působící na hřídel v bodě D ve směru osy x

VÝSLEDNÉ VNITŘNÍ ÚČINKY V ROVINĚ YZInterval I: $x_1 \in <0;a>$ 

Obr. 28 Řez I v rovině XZ

$$N_{z1} = 0 \text{ N} \quad (52)$$

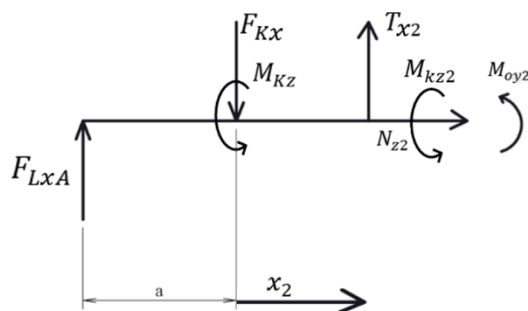
$$T_{x1} = -F_{LxA} = -627,13 = -627,13 \text{ N} \quad (53)$$

$$M_{oy1} = -F_{LxA} \cdot x_1 \quad (54)$$

$$M_{oy1z} = 627,13 \cdot 0 = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{oy1k} = 627,13 \cdot 91 \cdot 10^{-3} = 57,07 \text{ Nm}$$

$$M_{kz1} = 0 \text{ Nm} \quad (55)$$

Interval II: $x_2 \in <0;b>$ 

Obr. 29 Řez II v rovině XZ

$$N_{z2} = 0 \quad (56)$$

$$T_{x2} = -F_{LxA} + F_{Kx} = -627,13 + 627,13 = 0 \text{ N} \quad (57)$$

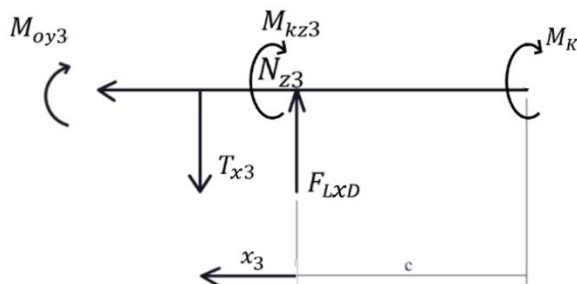
$$M_{oy2} = F_{LxA} \cdot (a + x_2) - F_{Kx} \cdot x_2 \quad (58)$$

$$M_{oy2z} = 627,13 \cdot (91 \cdot 10^{-3} + 0) - 627,13 \cdot 0 = 57,07 \text{ Nm}$$

$$M_{oy2k} = 627,13 \cdot (91 \cdot 10^{-3} + 270 \cdot 10^{-3}) - 627,13 \cdot 270 \cdot 10^{-3} = 57,07 \text{ Nm}$$

$$M_{kz2} = -M_{Kz} = -40,48 \text{ N} \quad (59)$$

Interval III: $x_3 \in \langle 0; a \rangle$



Obr. 30 Řez III v rovině XZ

$$N_{z3} = 0 \quad (60)$$

$$T_{x3} = F_{LxD} = 627,13 \text{ N} \quad (61)$$

$$M_{oy3} = F_{LxD} \cdot x_3 \quad (62)$$

$$M_{oy3z} = 627,13 \cdot 0 = 0 \text{ Nm}$$

$$M_{oy3k} = 627,13 \cdot 91 \cdot 10^{-3} = 57,07 \text{ Nm}$$

$$M_{kz3} = -M_K = -80,96 \text{ Nm}$$

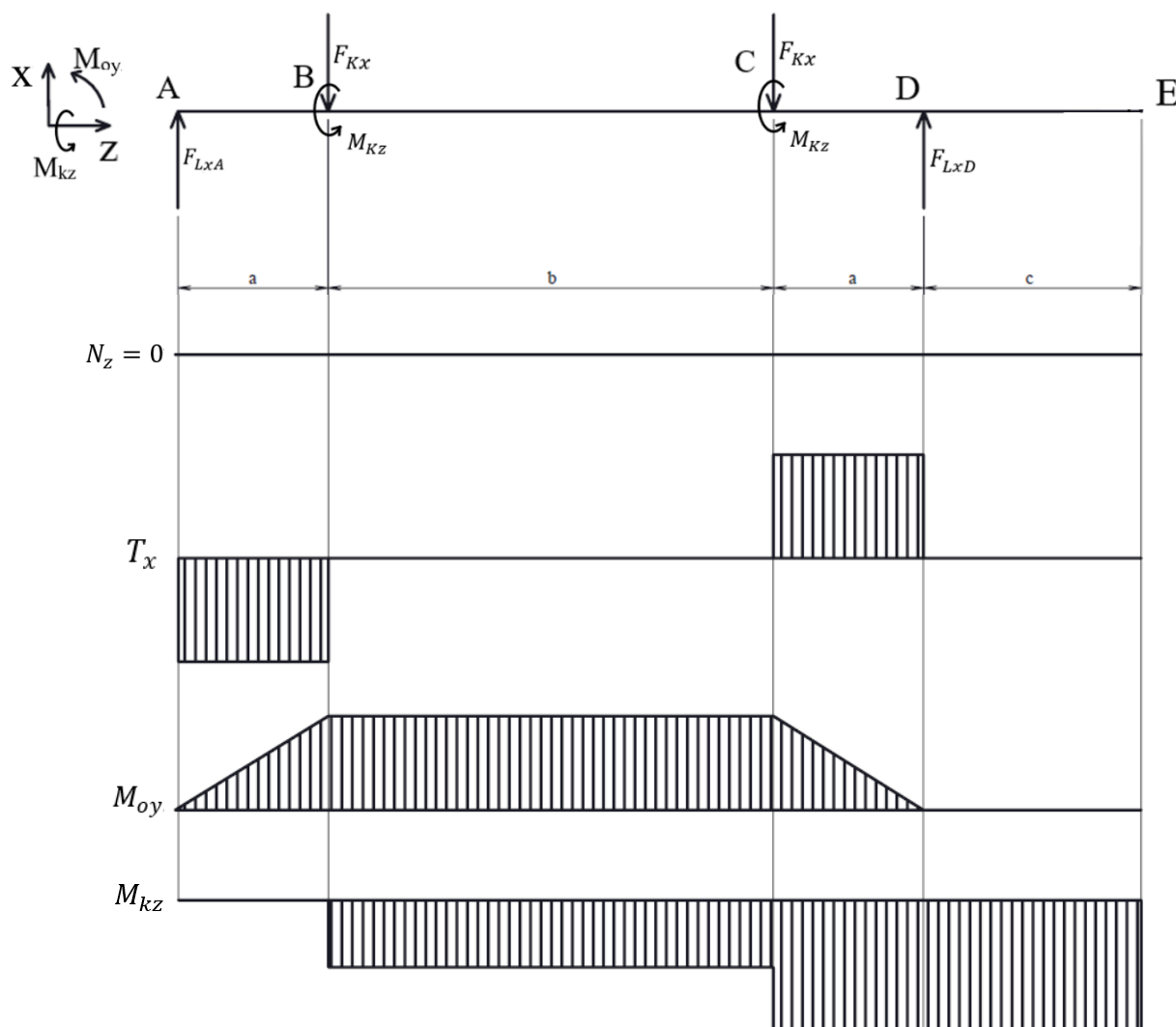
Interval IV: $x_4 \in \langle 0; c \rangle$

Z důvodu absence síly působící v řezu IV není nutné se tímto intervalem zabývat, jelikož výsledné vnitřní účinky nabývají nulové hodnoty kromě kroutícího momentu, který je obdobný krouticímu momentu jak v rovině YZ, tak v intervalu III.

Tab. 4 Přehled VVÚ v rovině XZ

Složka VVÚ	Úsek			
	I	II	III	IV
N_z [N]	0	0	0	0
T_y [N]	-627,13	0	627,13	0
M_{oyz} [Nm]	0	57,07	0	0
M_{oyk} [Nm]	57,07	57,07	57,07	0
M_{kz} [Nm]	0	-40,48	-40,48	-80,96

GRAFICKÉ ZOBRAZENÍ VVÚ V ROVINĚ YZ



5.3.1 NÁVRH PRŮMĚRU HŘÍDELE

Pro výpočet průměru hřídele vycházím z výsledků z předchozí kapitoly.

VÝPOČET CELKOVÉHO OHYBOVÉHO MOMENTU

Pro výpočet celkového ohybového momentu působícího na hřídel vycházím z pythagorovy věty. Výpočet provádím s použitím hodnot VVÚ vypočtených v předchozí kapitole (viz. Tab. 3, Tab. 4.)

$$M_{oA} = \sqrt{M_{ox1z}^2 + M_{oy1z}^2} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ Nm} \quad (63)$$

$$M_{oB} = \sqrt{M_{ox1k}^2 + M_{oy1k}^2} = \sqrt{M_{ox2z}^2 + M_{oy2z}^2} \quad (64)$$

$$M_{oB} = \sqrt{-1,37^2 + 57,07^2} = 57,09 \text{ Nm}$$

$$M_{oC} = \sqrt{M_{ox2k}^2 + M_{oy2k}^2} = \sqrt{M_{ox3k}^2 + M_{oy3k}^2} \quad (65)$$

$$M_{oC} = \sqrt{28,78^2 + 57,07^2} = 63,92 \text{ Nm}$$

$$M_{oD} = \sqrt{M_{ox3z}^2 + M_{oy3z}^2} = \sqrt{M_{ox4k}^2 + M_{oy4k}^2} \quad (66)$$

$$M_{oD} = \sqrt{50,48^2 + 0^2} = 50,48 \text{ Nm}$$

$$M_{oE} = \sqrt{M_{ox4z}^2 + M_{oy4z}^2} = \sqrt{0^2 + 0^2} = 0 \text{ Nm} \quad (67)$$

Z výsledků vybírám největší ohybový moment, který se po jejich porovnání nachází v bodě C.

URČENÍ MAXIMÁLNÍHO KROUTÍCÍHO MOMENTU

Maximální krouťící moment zjistíme z Tab.3 nebo Tab.4, jelikož v obou rovinách jsou krouťící momenty stejné.

$$M_{kzA} = 0 \text{ Nm} \quad (68)$$

$$M_{kzB} = -M_K = -48,48 \text{ Nm} \quad (69)$$

$$M_{kzC} = -M_K = -80,96 \text{ Nm} \quad (70)$$

$$M_{kzD} = -M_K = -80,96 \text{ Nm} \quad (71)$$

$$M_{kzE} = -M_K = -80,96 \text{ Nm} \quad (72)$$

PŘEDPOKLADY PRO NÁVRH HŘÍDELE

Při výpočtu redukovaného napětí vycházím z průměru díry pro hřídel obvykle používaného pohonu nabízeného firmou NORD Drivesystems [16].

Průměr hřídele:

$$d = 40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Mez pevnosti v tahu oceli ČSN 17240 [17]

$$R_m = 500 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

VÝPOČET REDUKOVANÉHO NAPĚTÍ

Při výpočtu hřídele uvažuji jeho cyklické namáhání, pro výpočet redukovaného napětí použiji podmínku plasticity HMM

Výpočet meze únavy [18]

$$\sigma_c = 0,36 \cdot R_m + 44 = 0,36 \cdot 500 \cdot 10^6 + 44 \cdot 10^6 = 224 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad (73)$$

kde:

σ_c [Pa] -mezni únavové napětí materiálu při ohybu za rotace

Výpočet modulu průřezu v ohybu

$$W_{oc} = \frac{\pi \cdot d^3}{32} = \frac{\pi \cdot (40 \cdot 10^{-3})^3}{32} = 6,28 \cdot 10^{-6} \text{ m}^3 \quad (74)$$

kde:

W_{oc} [m³] -modul průřezu v ohybu v bodě C

Výpočet napětí v ohybu

$$\sigma_{oc} = \frac{M_{oc}}{W_{oc}} = \frac{63,92}{6,28 \cdot 10^{-6}} = 1,02 \cdot 10^7 \text{ Pa} \quad (75)$$

kde:

σ_{oc} [Pa] -ohybové napětí v bodě C

Výpočet modulu průřezu v krutu

$$W_{kc} = \frac{\pi \cdot d^3}{16} = \frac{\pi \cdot (40 \cdot 10^{-3})^3}{16} = 1,26 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3 \quad (76)$$

kde:

W_{kc} [m³] -modul průřezu v krutu v bodě C

Výpočet smykového napětí

$$\tau_{kc} = \frac{M_{kzc}}{W} = \frac{-80,96}{1,26 \cdot 10^{-6}} = -6,44 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad (77)$$

kde:

τ_{kc} [Pa] -smykové napětí v bodě C

Výpočet redukovaného napětí

$$\sigma_{redC} = \sqrt{\sigma_{oc}^2 + 3 \cdot \tau_{kc}^2} = \sqrt{(1,02 \cdot 10^7)^2 + 3 \cdot (-6,44 \cdot 10^6)^2} = 1,51 \cdot 10^7 \text{ Pa} \quad (78)$$

kde:

σ_{redC} [Pa] -redukované napětí dle HMH v bodě C

Výpočet bezpečnosti

$$k = \frac{\sigma_c}{\sigma_{redC}} = \frac{224 \cdot 10^6}{1,51 \cdot 10^7} = 14,83 \quad (79)$$

kde:

k [-] -součinitel bezpečnosti k meznímu stavu únavy

Při zhodnocení velikosti bezpečnosti hřídele vzhledem k meznímu stavu únavy přihlížím k různým faktorům. Jeden z těchto faktorů je maximální velikost krouticího momentu motoru. S tímto je velmi úzce spjatá skutečnost, že zatížení se mění jak s časem a množstvím vody v kanále, tak nárazově v případě zachycení shrabků jako například větví, dětských plen, apod. Shrabky toho typu nemusí vést k nutnému poškození česlí anebo k jejich zastavení sepnutím čidla mikrosplínače (viz. 4.2.5), ale je nutné vyvinout násobně větší moment na hřídeli k odstranění nebo porušení jejich celistvosti a umožnění vynesení do výsypky. Dále zohledňuji fakt, že hřídel je jeden z hlavních prvků česlí a na rozdíl například od česlicového pásu je při jeho poškození výměna velmi časově a finančně náročná operace. Z těchto důvodů uvažuji vypočtenou bezpečnost jako vyhovující pro dané zařízení a jeho použití.

5.4 VOLBA POHONU

V závislosti na předpokladech pro výpočet VVÚ hřídele (5.3), předpokladech spjatých s prouděním vody a z něj vyplývajících odporů zmíněných v (5) a výsledků kontroly hřídele vzhledem k meznímu stavu únavy volím šnekovou převodovku s motorem firmy NORD Drivesystems [16] s označením **SK 13080AF - 63S/4**.

ZÁKLADNÍ PARAMETRY POHONU (VIZ. PŘÍLOHA 1).

Výstupní otáčky:

$$n = 1,6 \text{ min}^{-1}$$

Výstupní moment

$$M_2 = M_{Kmax} = 344 \text{ Nm}$$

Výkon

$$P = 120 \text{ W}$$

5.5 NÁVRH A KONTROLA TĚSNÉHO PERA

Na základě informací uvedených v [19], se provádí kontrola pera pouze na otlačení, jelikož nedojde-li ke vzniku vůle ve spoji, výpočet na stříh, není nutné provádět. Kontrola je provedena pro největší možný výstupní moment pohonu.

TĚSNÉ PERO PRO PŘENOS KROUTÍCÍHO MOMENTU Z POHONU NA HŘÍDEL

Dovolený tlak pro ocel:

$$p_0 = 150 \cdot 10^6 \text{ Pa}$$

Rozměry těsného pera ČSN 02 2562 pro hřídel o průměru 40 mm (str. 467)[14]:

Šířka:

$$b_p = 12 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Výška:

$$h_p = 8 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Hloubka drážky v náboji:

$$t_1 = 3,1 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Dovolený tlak na bocích drážek v náboji pro jednosměrné klidné zatížení (str. 1080)[19]

$$p_D = 0,8 \cdot p_0 = 0,8 \cdot 150 \cdot 10^6 = 150 \cdot 10^6 \text{ Pa} \quad (80)$$

kde:

p_D [Pa] dovolený tlak na boku drážky v náboji

Výpočet tečné síly na obvodu hřídele

$$F_t = \frac{2 \cdot M_{Kmax}}{d} = \frac{2 \cdot 344}{40 \cdot 10^{-3}} = 17200 \text{ N} \quad (81)$$

kde:

F_t [N] tečná síla působící na obvodu hřídele
 d [m] průměr hřídele

Výpočet minimální délky pera

$$p_D \geq \frac{F_t}{t_1 \cdot (l_{pmin} - b_p)} \quad (82)$$

$$p_D \geq \frac{17200}{3,1 \cdot 10^{-3} \cdot (l_{pmin} - 12 \cdot 10^{-3})}$$

Po vyjádření z rovnice zjistíme minimální délku těsného pera

$$l_{pmin} = 58,24 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

kde:

l_{pmin} [m] minimální délka těsného pera

Z tabulky v (str. 467) [14] vybírám nejbližší vyšší vyráběný rozměr těsného pera

$$l_p = 63 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

kde:

l_p [m] délka těsného pera

Označení zvoleného pera

Pero 12e7 x 8 x 63 ČSN 02 2562

TĚSNÉ PERO PRO PŘENOS KROUTÍCÍHO MOMENTU Z HŘÍDELE NA ŘETĚZOVÉ KOLO

Rozměry těsného pera ČSN 02 2562 pro hřídel o průměru 45 mm (str. 467)[14][19]:

Šířka:

$$b_{p2} = 14 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Výška:

$$h_{p2} = 9 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Hloubka drážky v náboji:

$$t_{12} = 3,5 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Výpočet tečné síly na obvodu hřídele

$$F_{t2} = \frac{M_{Kmax}}{d_2} = \frac{344}{45 \cdot 10^{-3}} = 7644,44 \text{ N} \quad (83)$$

kde:

F_{t2} [N] tečná síla působící na obvodu osazení hřídele
 d_2 [m] průměr osazení hřídele pod řetězovým kolem

Výpočet minimální délky pera

$$p_D \geq \frac{F_{t2}}{t_1 \cdot (l_{pmin} - b_{p2})} \quad (84)$$

$$p_D \geq \frac{7644,44}{3,5 \cdot 10^{-3} \cdot (l_{pmin} - 14 \cdot 10^{-3})}$$

Po vyjádření z rovnice zjistíme minimální délku těsného pera

$$l_{p2min} = 34,48 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

kde:

l_{p2min} [m] minimální délka těsného pera pod řetězové kolo

Z tabulky v (str. 467) [14] vybírám nejbližší vyšší vyráběný rozměr těsného pera

$$l_{p2} = 40 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

kde:

l_{p2} [m] délka těsného pera pod řetězové kolo

Označení zvoleného pera

Pero 14e7 x 9 x 40 ČSN 02 2562

5.6 VÝPOČET ŠROUBOVÉHO SPOJE ULOŽENÍ LOŽISEK

Výpočet vychází z konstrukce uvedené v (4.2.4). Veškerá síla ve směru kolmém na osu šroubů je zachycována třecí silou mezi podložkou a protikusem přivařeným na rámu silou vzniklou předpětím ve šroubovém spojení. Napínací mechanismus slouží pouze k seřizování polohy a při provozu je na něj nepůsobí žádná síla způsobující tlak vedoucí ke vzpěru v závitové tyči.

Pro spojení jsou použity nerezové šrouby se šestihrannou hlavou a s metrickým závitem ČSN EN ISO 4014.

ZÁKLADNÍ PARAMETRY ŠROUBU [20]

Pevnost

8.8

Jmenovitý průměr závitu

$$D_z = M12$$

Stoupání závitu

$$R = 1,75 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Osová síla ve šroubu

$$F_o = 35401 \text{ N}$$

Utahovací moment

$$M_u = 84 \text{ Nm}$$

5.7 VOLBA LOŽISEK

Volba ložisek se odvíjí od průměru hřídele, potřeby odolnosti proti vlivům okolního prostředí a nároky na bezúdržbový nepřetržitý provoz. Na základě těch to požadavků volím ložisko o průměru 40 mm volím z nabídky společnosti SKF ložiskové těleso SE 509 [21] (viz. Příloha 2).

ZÁVĚR

V první části je vysvětlen základní princip, funkce a předčištění a jeho důležitost procesu čištění vody. Dále je definován pojem česle a popsána jejich funkce a obecná konstrukce včetně jejich provozu a jeho řízení. Na tuto část navazuje kritická rešerše jednotlivých druhů konstrukcí česlí, na kterou navazuje přehled kritérií pro výběr česlí. Následuje zdůvodnění volby konkrétního konstrukčního provedení. Konstrukční část uzavírá popis vybraných konstrukčních uzlů samočisticích česlí.

Výpočtová část se zabývá výpočtem sil vznikajících ve spodní a horní větvi česlicového pásu při zatížení jednoho článku česlicového pásu předpokládanou hmotností shrabků 1 kg. Z rozdílů sil působících v jednotlivých větvích je určen moment namáhající hřídel na krut a reakční síly v ložiskách. Dále jsou vypočteny a graficky zpracovány výsledné vnitřní účinky působící na hřídel. Z výsledků VVÚ v jednotlivých rovinách je vypočítán celkový ohybový a kroutící moment v jednotlivých částech hřídele, pomocí kterého můžeme určit bezpečnost hřídele vzhledem k mezi únavy. Na závěr výpočtové části je zvolen pohon, těsná pera pro přenos kroutícího momentu z motoru na hřídel a řetězová kola

Závěrečná část práce se věnuje výkresové dokumentaci. Konkrétně obsahuje sestavu celého zařízení, podsestavu pohonu a výrobní výkres hřídele.

POUŽITÉ INFORMAČNÍ ZDROJE

- [1] ČSN EN 122553-3: Čistírny odpadních vod - Část 3: Předčištění. 2002. Praha: Český normalizační institut, 2002, 11s.
- [2] MAZEL, Lubomír a Miloš POKORNÝ. *Vodárny a čistírny*. 2. přepr.vyd. Brno: VUT, 1992, 149 s. ISBN 80-214-0473-6.
- [3] Česle ručně stírané. *FONTANA R, s.r.o.* [online]. c2019 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/CR-CZ.pdf>
- [4] Ruční česle. *INKOS CZ, a.s.* [online]. c2015 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.inkos.cz/vyrobni-program/chci-hledat-podle-zarizeni/cesle-rucni>
- [5] Ručně stírané česle AS-ČESLE. *ASIO, spol. s r.o.* [online]. c2011-2019 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.asio.cz/cz/as-cesle>
- [6] Čisticí stroje česlí. *MaVE BRNO s.r.o.* [online]. [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <http://www.cesle.cz/produkty.html>
- [7] Šnekové česle. *FONTANA R, s.r.o.* [online]. c2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/SC-CZ.pdf>
- [8] HUBER Fine Screen STEP SCREEN® SSV. *Huber CS spol s.r.o.* [online]. c2019 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: https://www.hubercs.cz/fileadmin/01_products/01_screens/03_stepscreen/01_ssv/pro_ssv_en.pdf
- [9] Strojní česle STEP SCREEN. *BTMO GROUP* [online]. c2018 [cit. 2019-04-19]. Dostupné z: <https://www.bmto.cz/jemne-predcisteni/strojni-cesle-step-creen/>
- [10] Strojní česle hrubé spodem stírané. *FONTANA R, s.r.o.* [online]. c2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/SCH-S-CZ.pdf>
- [11] Strojní česle jemné. *FONTANA R, s.r.o.* [online]. c2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/SCJ-CZ.pdf>
- [12] Strojní česle hrubé vrchem stírané. *FONTANA R, s.r.o.* [online]. c2019 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/SCH-V-CZ.pdf>
- [13] Samočisticí česle. *FONTANA R, s.r.o.* [online]. c2019 [cit. 2019-05-06]. Dostupné z: <http://www.fontanar.cz/spolecne-dokumenty/cz/vyrobni-program/mechanicke-predcisteni/SCC-CZ.pdf>
- [14] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3., dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999, 985 s. : il. ISBN 80-7183-164-6.

- [15] Valivé tření (valivý odpor) [online]. c2002 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <http://www.converter.cz/tabulky/valive-treni.htm>
- [16] UNIVERSAL šnekové převodovky. *NORD Drivesystems* [online]. c2015 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.nord.com/cms/cz/product_catalogue/geared_motors/worm_geared_motors/pdf_worm_geared_motors_1513.jsp
- [17] X5CrNi18-10: Austenitická korozi-vzdorná ocel. *Bolzano* [online]. c2019 [cit. 2019-05-18]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/vyrobky-z-korozi-vzdornych-a-zaruvzdornych-oceli/vyrobky-z-oceli-korozi-vzdornych/materialove-listy/x6crni18-10-austeniticke>
- [18] Vlastnosti a zkoušení materiálu: Přednáška č. 8 – Únava materiálu. VŠB Technická univerzita ostrava [online]. 2013 [cit. 2019-05-19]. Dostupné z: https://www.fs.vsb.cz/export/sites/fs/330/.content/files/VZM8_UnavaMaterialu.pdf
- [19] SHIGLEY, Joseph Edward, Charles R. MISCHKE, Richard G. (Richard Gordon) BUDYNAS, Martin HARTL a Miloš VLK. *Konstruování strojních součástí*. V Brně: VUTUM, 2010, xxv, 1159 s. : il. ; 26 cm. ISBN 978-80-214-2629-0.
- [20] Utahovací momenty šroubů. *Briol* [online]. c2019 [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.briol.cz/technicke-informace/utahovaci-momenty-sroubu>
- [21] *Split plummer block housings* [online]. [cit. 2019-05-22]. Dostupné z: <https://www.skf.com/group/products/bearings-units-housings/bearing-housings/split-plummer-block-housings-snl-2-3-5-6-series/snl-se-series-adapter-sleeve-with-standard-seals/index.html?designation=SE%20509%20%2B%201209%20K%20%2B%20HA%20209>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

a	[m]	Vzdálenost středů ložiska a řetězového kola
b	[m]	Vzdálenost středů řetězových kol
b_k	[m]	Šířka kanálu
b_p	[m]	Šířka těsného pera
b_{p2}	[m]	Šířka těsného pera pod řetězovým kolem
c	[m]	Vzdálenost středů pohonů a ložiska
d	[m]	Průměr hřídele
D	[m]	Průměr řetězového kola
d_2	[m]	Průměr osazení hřídele pod řetězovým kolem
D_z	[-]	Jmenovitý rozměr závitu
$f_{\check{c}}$	[-]	Součinitel čepového tření
$F_{\check{c}1}$	[N]	Tažná síla v ose článku 1
$F_{\check{c}2}$	[N]	Tažná síla v ose článku 2
$F_{\check{c}22}$	[N]	Tažná síla v ose článku 22
$F_{\check{c}23}$	[N]	Tažná síla v ose článku 23
$F_{\check{c}24}$	[N]	Tažná síla v ose článku 24
$F_{\check{c}25}$	[N]	Tažná síla v ose článku 25
$F_{\check{c}26..30}$	[N]	Tažná síla v ose článků 26 až 30
$F_{\check{c}3}$	[N]	Tažná síla v ose článku 3
$F_{\check{c}31..41}$	[N]	Tažná síla v ose článků 31 až 41
$F_{\check{c}4}$	[N]	Tažná síla v ose článku 4
$F_{\check{c}42}$	[N]	Tažná síla v ose článku 42
$F_{\check{c}43}$	[N]	Tažná síla v ose článku 43
$F_{\check{c}44}$	[N]	Tažná síla v ose článku 44
$F_{\check{c}45}$	[N]	Tažná síla v ose článku 45
$F_{\check{c}46}$	[N]	Tažná síla v ose článku 46
$F_{\check{c}5}$	[N]	Tažná síla v ose článku 5
$F_{\check{c}6}$	[N]	Tažná síla v ose článku 6
$F_{\check{c}7..21}$	[N]	Tažná síla v ose článků 7 až 21
F_{gh}	[N]	Tíhová síla vyvolaná hmotností článku horní větve pásu
F_{gk}	[N]	Tíhová síla vyvolaná hmotností řetězového kola
F_{gp}	[N]	Tíhová síla vyvolaná hmotností pohonu

F_{gs}	[N]	Tíhová síla vyvolaná hmotností článku spodní větve pásu
F_H	[N]	Tažná síla v horní větvi pásu
F_{Kx}	[N]	Reakční síla na kolo působící ve směru osy x
F_{Ky}	[N]	Reakční síla na kolo působící ve směru osy y
F_{LxA}	[N]	Reakční síla od ložiska působící na hřídel v bodě A ve směru osy x
F_{LxD}	[N]	Reakční síla od ložiska působící na hřídel v bodě D ve směru osy x
F_{LyA}	[N]	Reakční síla od ložiska působící na hřídel v bodě A ve směru osy y
F_{LyD}	[N]	Reakční síla od ložiska působící na hřídel v bodě D ve směru osy y
F_{Nh}	[N]	Normálová síla působící na kladku horní větve pásu
F_{Ns}	[N]	Normálová síla působící na kladku spodní větve pásu
F_o	[N]	Osová síla ve šroubu
F_t	[N]	Tečná síla působící na obvodu hřídele
F_{t2}	[N]	Tečná síla působící na obvodu osazení hřídele
F_{th}	[N]	Tečná síla působící na kladku horní větve pásu
F_{ts}	[N]	Tečná síla působící na kladku spodní větve pásu
g	[m/s ⁻²]	Tíhové zrychlení
h_k	[m]	Hloubka kanálu
h_p	[m]	Výška těsného pera
h_{p2}	[m]	Výška těsného pera pod řetězovým kolem
k	[-]	Součinitel bezpečnosti k meznímu stavu únavy
l_p	[m]	Délka těsného pera
l_{p2}	[m]	Délka těsného pera pod řetězové kolo
l_{p2min}	[m]	Minimální délka těsného pera pod řetězové kolo
l_{pmin}	[m]	Minimální délka těsného pera
$m_{\check{c}}$	[kg]	Hmotnost jednoho článku pásu
$M_{\check{c}h}$	[Nm]	Moment čepového tření mezi čepem a kladkou horní větve pásu
$m_{\check{c}h}$	[kg]	Hmotnost článku zatíženého shrabky
$m_{\check{c}s}$	[kg]	Hmotnost jednoho článku pásu nezatíženého shrabky
$M_{\check{c}s}$	[Nm]	Moment čepového tření mezi čepem a kladkou spodní větve pásu
$M_{\check{c}s}$	[Nm]	Moment čepového tření mezi čepem a kladkou spodní větve pásu
m_k	[kg]	Hmotnost řetězového kola
M_K	[Nm]	Minimální výstupní moment pohonu
M_{Kmax}	[Nm]	Výstupní moment pohonu

M_{Kz}	[Nm]	Moment působící na jedno řetězové kolo
M_{kzi}	[Nm]	Kroutící moment v ose z v intervalu i
M_{oxik}	[Nm]	Ohybový moment v ose x na konci intervalu i
M_{oxiz}	[Nm]	Ohybový moment v ose x na začátku intervalu i
M_{oyik}	[Nm]	Ohybový moment v ose y na konci intervalu i
M_{oyiz}	[Nm]	Ohybový moment v ose y na začátku intervalu i
m_{sh}	[kg]	Uvažovaná hmotnost shrabků na jeden článek horní větve pásu
M_u	[Nm]	Utahovací moment
n	[min ⁻¹]	Výstupní otáčky pohonu
N_{zi}	[N]	Normálová síla působící v ose z v intervalu i
P	[W]	Výkon pohonu
P_0	[Pa]	Dovolený tlak pro ocel
p_d	[Pa]	Dovolený tlak na boku drážky v náboji
R	[mm]	Stoupání závitu
$r_{\check{c}}$	[m]	Poloměr čepu
r_k	[m]	Poloměr kladky
t_l	[m]	Hloubka drážky v náboji
t_{l2}	[m]	Hloubka drážky v řetězovém kole
T_{xi}	[N]	Posouvající síla působící ve směru osy x v intervalu i
T_{yi}	[N]	Posouvající síla působící ve směru osy y v intervalu i
W_{kC}	[m ³]	modul průřezu v krutu v bodě C
W_{oC}	[m ³]	Modul průřezu v ohybu v bodě C
α_1	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 1
α_2	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 2
α_{22}	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 22
α_{23}	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 23
α_{24}	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 24
α_{25}	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 25
$\alpha_{26.30}$	[deg]	Úhel sklonu osy článků česlicového pásu pro články 26 až 30
α_3	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 3
$\alpha_{31.41}$	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu pro články 31 až 41
α_4	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 4
α_{42}	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 42

α_{43}	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 43
α_{44}	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 44
α_{45}	[deg]	Úhel sklonu osy článku česlicového pásu v místě článku 45
α_{46}	[deg]	Úhel sklonu osy článku česlicového pásu v místě článku 46
α_5	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 5
α_6	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu v místě článku 6
$\alpha_{7,21}$	[deg]	Úhel sklonu vedení česlicového pásu pro články 7 až 21
$\alpha_{\vec{r}}$	[deg]	Úhel odklonu směru síly F_s od osy x
ζ	[m]	Rameno valivého odporu
τ_{kC}	[Pa]	Smykové napětí v bodě C
R_m	[Pa]	Mez pevnosti v tahu oceli DIN 1.4301
β	[deg]	Úhel sklonu česlí
σ_{oC}	[Pa]	Ohybové napětí v bodě C
σ_{redC}	[Pa]	redukované napětí dle HMH v bodě C
σ_c	[Pa]	Mezní únavové napětí materiálu při ohybu za rotace

SEZNAM PŘÍLOH

PŘÍLOHY

Příloha 1: Parametry pohonu NORD

Příloha 2: Parametry ložiskového tělesa SE 509

VÝKRESOVÁ DOKUMENTACE

Výkres sestavy:	Samočistící česle	SCC-JB-00
	Kusovník sestavy	
Výkres podsestavy:	Pohon	SCC-JB-01
	Kusovník podsestavy 1,2	
Výkres součásti:	Hřídel	SCC-JB-001

Příloha 1: Parametry pohonu NORD

NORD-POHÁNĚCÍ TECHNIKA, S.R.O.
 Member of the NORD DRIVESYSTEMS Group


LWCPQW - Strana 1 / 1

NORD-Poháněcí technika, s.r.o., Bečovská 1398/11, CZ-104 00 Praha 10

myNORD - Guest CZ

Technická specifikace

Číslo Datum	LWCPQW.0 19.05.2019
Číslo zákazníka	
Tel.	222 287 222
E-Mail	cz@nord.com

Pol.	Popis	Materiál	Množství
1	Šneková převodovka s motorem SK 13080AF - 63S/4		1
	Označení výrobku	Šneková převodovka s čelním předstupným	
	Otáčky motoru	1335 1/min	
	Použití	Standardní síťový provoz - možnost provozu s měničem frekvence	
	Převodový poměr	805.28	
	Výstupní otáčky	1.6 1/min	
	Provozní faktor	2.3	
	Výstupní moment M2	344 Nm	
	Max. radiální síla	9.7 kN	
	Max. axiální síla	9 kN	
	Výkon	0.12 kW	
	Napětí	230/400 V	
	Frekvence	50 Hz	
	Třída účinnosti	IE1 / Třída účinnosti	
	Jmenovitý proud 1	0.95 A	
	Jmenovitý proud 2	0.55 A	
	Cos φ 1	0.64	
	Druh provozu	Trvalý provoz	
	Krytí motoru	IP55	
	Třída izolace	F	
	Pracovní poloha převodovky	M1	
	Počet stupňů převodovky	3 :1	
	Typ skříně	Příruba B5	
	Typ skřine	Dutý hřídel s perodrážkou	
	Rozměry hřídele	40H7 mm	
	Materiál výstupního hřídele	Standardní materiál	
	Průměr příruby	200 mm	
	Poloha příruby	strana A	
	Odvzdušnění	Standardní odvzdušňovací šroub	
	Provedení ložisek	Standardní ložiska	
	Typ ventilátoru	TEFC -Vlastní ventilátor (standard)	
	Poloha svorkovnice	2	
	Poloha kabelových průchodek	II	
	Kabelové průchodky	Bez průchodek	
	Typ maziva	Syntetický olej VG 680	
	Množství maziva	1,60 l	
	Lakovací předpis	Nátěr 2 (standard)	
	Barva	RAL 5010 modrá	
	Hmotnost	39,0 kg	

Společnost je zapsána v OR u Městského soudu v Praze, oddíl C, vložka 143772
<http://www.nord.com>

Příloha 2: Parametry ložiskového tělesa SE 509

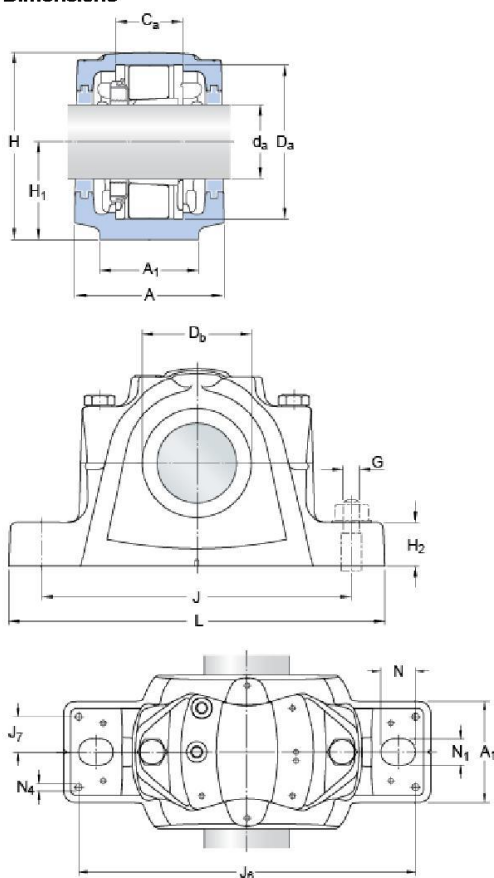


SE 509

Appropriate products

Bearing (basic designation)	22209 K
Adapter sleeve	H 309
Locating ring	2 x FRB 3.5/85

Dimensions



d_a	40	mm
C_a	30	mm
D_a	85	mm
D_b	56.5	mm
A	85	mm
A_1	60	mm
H	109	mm
H_1	60	mm
H_2	25	mm
J	170	mm
L	205	mm
N	20	mm
N_1	15	mm

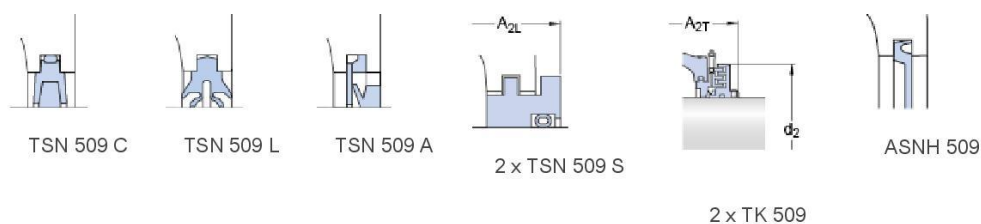
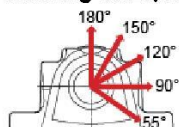
Dowel pins

J_6	188	mm
J_7	22	mm
N_4	max. 6	mm

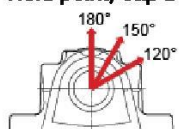
Seal dimensions

A_{2L}	97	mm
A_{2T}	151	mm
d_2	95	mm

Appropriate seals and end cover

**Breaking loads, housing**

P_{0°	160	kN
P_{55°	230	kN
P_{90°	140	kN
P_{120°	100	kN
P_{150°	90	kN
P_{180°	115	kN
P_a	75	kN

Yield point, cap bolts

Q_{120°	150	kN
Q_{150°	85	kN
Q_{180°	75	kN

Mass

Mass housing	3.38	kg
--------------	------	----

Mounting Information

Cap bolt, size	M 10x55	
Cap bolt, rec. tightening torque	50	N·m
Appropriate attachment bolt, size	G 12	mm
Appropriate attachment bolt, rec. tightening torque	80	N·m
Initial grease fill, 20%	40	g
Initial grease fill, 40%	60	g